

Karbon i jord – kilder, handtering, omdanning

NORSØK RAPPORT | VOL. 3 | NR. 9 | 2018



Grete Lene Serikstad, Reidun Pommeresche, Kirsty McKinnon og Sissel Hansen

TITTEL

Karbon i jord – kilder, handtering og omdanning

FORFATTERE(E)

Grete Lene Serikstad, Reidun Pommeresche, Kirsty McKinnon og Sissel Hansen

DATO:	RAPPORT NO.		PROSJEKT NR.:	
20.12.2018	3/9/2018	Åpen	6027	
ISBN:	ISSN:	ANTALL SIDER:	ANTALL VEDLEGG:	
978-82- 8202-074-9		60	Vedlegg	

STIKKORD:

Jordkarbon, organisk materiale, humus, karbonlagring

Soil carbon, organic matter, humus, carbon sequestration, carbon storage

FAGOMRÅDE:

Jord

Soil

SAMMENDRAG:

Innholdet av organisk materiale og dermed karbon i jord er viktig for egenskapene jorda har som dyrkingsmedium og for jordbrukets klimaregnskap. Karbon tilføres via plantenes fotosyntese og annen tilførsel av organisk materiale. Karbon fjernes med avlinger og nedbryting av organisk materiale i jorda. For å kunne utvikle jordbruksmetoder som bidrar til lagring av mest mulig karbon i jord er det viktig å forstå prosessene knytta til nedbryting, omdanning og oppbygging av organisk materiale i jord.

Rapporten omfatter en gjennomgang av kunnskap om disse prosessene. Klima, jordtype, driftsmåte, tilført organisk materiale og opprinnelig karboninnhold har betydning for karbonbindingen i jord, noe som gjør det umulig å generalisere det potensialet jord har til å binde karbon over lengre tid. Litteraturgjennomgangen viser at det ikke er enkelt å lagre karbon i dyrkajord.

Størst mulighet for økt opptak av karbon er det i jord som har et lavere innhold av karbon enn det jorda kan lagre på grunn av bakkeplanering, ensidig korndyrking eller annet. Økt bruk av fangvekster, eng, belgvekster og tilførsel av husdyrgjødsel og organisk materiale vil øke karboninnholdet i slik jord. Undersøkelser tyder på at en økologisk driftsform kan bidra til et økt innhold av organisk innhold i jorda, bla. på grunn av vekstskifte, tilførsel av organisk materiale, bruk av belgvekster og fangvekster.

Organisk materiale brukt som gjødsel behandles på ulike måter før det tilføres jorda. I rapporten diskuteres virkning av fermentering og kompostering på karbonbinding. Rapporten påpeker

nødvendigheten av å vektlegge kvaliteten av det organiske materialet som skal tilføres jorda. Biokull kan brukes for lagring av karbon i jord. Positive egenskaper knyttet til jordforbedring kan bidra til at biokull tilført jordbruksarealer blir aktuelt som klimatiltak. Rapporten gjengir også andre enkelttiltak som kan bidra til økt humusinnhold og binding av karbon i jord. Forslag til videre arbeid knyttet til lagring av karbon i jord er tatt med til slutt i rapporten.

LAND: Norge

STED: Tingvoll

GODKJENT

Turid Strøm

NAVN

PROSJEKT LEDER

Grete Lene Serikstad

NAVN

Forord

Landbruket er en aktiv bidragsyter til både å frigjøre og binde klimagasser. I fotosyntesen bruker kulturplantene klimagassen karbondioksid for å lage organisk materiale i form av blader, stengler og røtter. Mye av dette organiske materialet høstes til fôr og mat, og noe tapes på ulike måter. Nedbryting og omdanning i jorda slipper ut noe karbondioksid til luft, mens noe karbon i det organiske materialet blir igjen i jorda. Vi trenger mer kunnskap hvordan organisk materiale bidrar til å lagre karbondioksid over tid i jorda.

Globalt bidrar mye av dagens jordbruksmetoder til å redusere mengden organisk materiale i jord. Blant annet kan ensidig planteproduksjon, bruk av ettårige vekster, årlig jordarbeiding og mangel på tilførsel av organisk gjødsel over tid føre til nedgang i mengden organisk materiale i jord. Internasjonalt er det utviklet ulike driftstiltak som skal øke jordas karboninnhold, både for å bedre jordas dyrkingsegenskaper og for å binde inn klimagassen karbondioksid. Slike tiltak og driftsmåter vil ha ulik effekt, alt etter hvordan jorda er i utgangspunktet og hvordan de klimatiske forholdene er på stedet. Disse driftstiltakene er utviklet både innen konvensjonell og økologisk drift. I økologisk landbruk er en viss andel organisk materiale i jord en nødvendig del av en vellykket drift.

Norsk senter for økologisk landbruk (NORSØK) har i mange år arbeidet med ulike problemstillinger knyttet til jord, og ikke minst betydningen av det organiske materialet i jord. Denne rapporten har som mål å gi et bilde av kunnskapsstatus for karbonbinding i jordbruksjord. Mange spørsmål er viktige: Hvordan drive jordbruk i Norge for å sikre at innholdet av organisk materiale i dyrkajorda ikke reduseres? Hvilke driftsmåter kan bidra til økt innhold av jordkarbon der mengden per i dag er så liten at det gir dårlige jordegenskaper? Hvilken betydning kan lagring av karbon i jord ha for å bedre landbrukets klimaregnskap? Spørsmål knytta til andre klimagasser i jordbruket, som metan og lystgass, er ikke tatt med i denne rapporten.

I tillegg til litteratursøk og eget arbeid har samtaler med ulike fagpersoner gitt verdifulle bidrag til rapporten.

Framstillingen er ikke utfyllende. Omfanget av fagområdet er stort, det er til dels uenighet blant forskere og kunnskapen er delvis mangelfull. Det er stor forskningsaktivitet innen fagområdet og noe av innholdet i rapporten er derfor «ferskvare». I løpet av våren 2019 vil det komme flere andre norske litteratursammenstillinger med tilgrensende tema. Rapporten vil være et faglig grunnlag for hvordan NORSØK i samarbeid med andre kompetansemiljø skal arbeide med jord og jordkarbon.

Arbeidet er finansiert av midler NORSØK mottar fra Landbruks- og matdepartementet. Takk til alle som på ulike vis har bidratt til denne kunnskapsinnsamlinga.

Tingvoll, 20.12.2018

Grete Lene Serikstad

Innhold

1	Innledning.....	7
2	Karbon i jord.....	10
2.1	Mye karbon i levende røtter, litt i jordliv og humus.....	10
2.2	Begrepsforvirring og uenighet	12
2.3	Humus og mold	13
2.3.1	Ulike prosesser for karbonlagring.....	14
2.4	Stabilisering av karbon i jord.....	15
2.5	Ulike målemetoder for karbon i jord	15
3	Karbon i norsk jordbruksjord	17
3.1	Store forskjeller mellom ulike jordtyper	18
4	Driftsformens betydning for innhold av organisk materiale i jord	19
4.1	Plantemangfold i eng og bruk av belgvekster	20
4.2	Langsomme prosesser	21
4.3	Bruk av dekkvekst	22
4.4	Gjødsling	22
4.5	Redusert jordarbeiding	24
4.6	Binding av karbon i temperert klima	24
5	Organisk materiale og karbon i jord ved økologisk drift.....	26
5.1	Sammenligninger i ulike land	26
5.2	Sammenlignende studier i Norden	29
6	Organisk materiale som tilføres jord – håndteringsmåte og jordkarbon	30
6.1	Kompostering kontra fermentering	31
7	Biokull.....	36
7.1	Terra preta de indio	36
7.2	Biokull lages ved pyrolyse	37
7.3	Jordforbedring og lagring av karbon.....	38
7.4	Biokull, et mulig alternativ for karbonfattig jord og karbonlagring.....	38
8	Oppsummering, anbefalinger og forslag.....	40
8.1	Lagring av jordkarbon som klimatiltak i landbruket	40
8.2	Geografiske forskjeller	41
8.3	Tiltak i landbruket som bidrar til å øke humusinnholdet og binde karbon i jord	42
8.4	Økologisk landbruk	43
8.5	Behov for forskning om behandlingsmåter av organisk gjødsel.....	43
8.6	Forslag til framtidige arbeidsoppgaver for NORSØK innen fagområdet.....	44
8.7	Sluttord	44
9	Litteraturreferanser	46
10	Vedlegg - prosjekter	54

1 Innledning

Store mengder karbon er lagret i jordsmonnet. Globalt er det beregnet at mengden karbon i jorda er større enn mengdene som fins i vegetasjon og i luft (Scharlemann 2014). Jord er derfor viktig som regulator av karboninnholdet i atmosfæren, både som lager og kilde for utslipp av klimagasser. Karboninnholdet i jord bestemmes av en dynamisk likevekt mellom det som tilføres og det som omdannes og seinere forsvinner fra jorda, til luft og vann.

På samme måte som plantevekst i naturen ellers er landbrukets planteproduksjon en nødvendig del av et globalt karbonkretsløp, hvor karbon i form av karbondioksid (CO_2) er en viktig del av kretsløpet. Landbruk er helt avhengig av karbon, først og fremst gjennom fotosyntesens omdanning av CO_2 til organisk materiale. Karbon er i tillegg en viktig energikilde for jordlivet og dermed helt nødvendig for omdannings- og oppbyggingsprosessene i jorda. Ved å dyrke og høste korn, gras og grønnsaker påvirkes den naturlige oppbyggingen av humus og mold i jorda, og dermed karbondynamikken.

Dyrkajord inneholder karbon i form av organisk materiale i ulike former, både levende og dødt. Mye av karbonet er tilført gjennom husdyrgjødsel og planterester over lang tid. Globalt har oppdyrking og jordbruksdrift over tid redusert karboninnholdet i dyrkajorda, og Lal (2010) hevder at mye av verdens dyrkajord har mistet 50-70 % av sitt opprinnelige karbonlager, mest i tropiske strøk.

Nedbryting og mineralisering av biomasse fører til tap av karbon fra jord i form av CO_2 . Karbon tapes også i form av ulike organiske forbindelser ved erosjon og utvasking (Grønlund & Harstad 2014). Organisk materiale i jord omdannes av jordorganismene, men noe organisk materiale blir værende lengre i jorda enn forventet ut fra antatt nedbryting av molekyler med slik struktur (Schmidt m. fl. 2011, Lützow m. fl. 2006, Lehmann & Kleber 2015). Både biologiske, kjemiske og fysiske prosesser påvirker hva som skjer med karbonet i det organiske materialet i jorda. Organisk materiale i jord inneholder rundt 50 % karbon, og er derfor et viktig lagringssted for karbon (Stockmann m.fl. 2013, Pribyl 2010). Ut fra hvor raskt denne omdanningen og nedbrytingen skjer kan dette materialet deles inn i ulike fraksjoner, f.eks. lett, middels og langsomt omsettelige (Breland 1992) eller næringshumus og stabil humus (Ottow 2011).

Det er vanskelig å fastslå hva som er optimalt innhold av organisk materiale med tanke på avlingsnivå på ulike jordtyper. Blir innholdet av organisk materiale for lavt går det utover vannlagringsevne, næringsstoffbinding, struktur og erosjonsfare i jorda. Et høyt innhold i utgangspunktet, som i myrjord, gir fare for CO_2 -utslipp ved dyrking og tap av nitrogen i perioder uten plantevekst (Grønlund m.fl. 2010).

Ved siden av ytre faktorer som klima, jordtype og topografi, påvirker driftsmåten innholdet av det organiske materialet i dyrkajorda, bl.a. gjennom vekstskifte, grad av jordarbeiding og jorddekke, gjødselmengde og -type. Noen dyrkingsmetoder og -system kan øke tilførselen av organisk materiale. For eksempel har et vekstskifte med stort innslag av eng vist seg å gi et høyere karboninnhold i jorda enn et vekstskifte med mye åpen åker (Bleken 2016).

Potensialet for å lagre karbon i jord er begrenset. Flere langvarige feltforsøk viser at ved konstant tilførsel av karbon vil innlagringen avta etter hvert som jorda nærmer seg en likevektstilstand. Ytterligere innlagring krever tilførsel av større årlige mengder av karbon (Röös m.fl. 2013).

Karbonbalansen i jord er en reversibel prosess og bestemmes av mange faktorer som påvirker tilførsel og tap. Temperatur og fuktighet er viktig både for tilførsel, i form av fotosyntese, og nedbrytning av organisk materiale. Andre faktorer som påvirker karbonbalansen er blant annet jordas næringstilstand, tilgangen på luft, mengden av planterøtter og jordaggregater, jordarbeiding og kalking (Grønlund & Harstad 2014). En oppbygging av karboninnholdet i jorda ved flerårig engdyrking vil bli reversert ved jordarbeiding og påfølgende åkerdyrking (Breland 1992, Røos m.fl. 2013).

På samme måte som andre samfunnssektorer er landbruket pålagt å redusere sine utslipp av klimagasser. Globalt bidrar landbruket til utslipp av store mengder av slike gasser, særlig lystgass og metan. Det slippes dessuten ut CO₂ fra jordbruksareal. Dette inngår i den offisielle utslippsrapporteringen. I Norge dominerer utslipp etter drenering og oppdyrking av myr, med 1,5 mill. tonn CO₂ per år. Det tapes også CO₂ fra mineraljord, ca. 100 kg CO₂ per dekar årlig fra åkerarealer og 40 kg CO₂ årlig fra arealer med eng og beite, beregnet til 150 000 tonn CO₂ (Bardalen m.fl. 2018).

Landbruket bidrar imidlertid også med produksjon av organisk materiale, ved at karbon omdannes fra CO₂ til andre former for karbonforbindelser gjennom plantenes fotosyntese. Dette gjør at landbruk også kan lagre karbon og slik kanskje bidra til å dempe effektene av klimagassutslippene.

Det er særlig karbon lagret i jordsmonnet som er aktuelt for å kunne bidra til en slik effekt. En liten økning av karboninnholdet i jorda kan føre til en nedgang i innholdet av CO₂ i atmosfæren. FN's klimapanel, IPCC, har vurdert landbrukets muligheter for å redusere verdens klimagassutslipp. De hevder at teoretisk kan nærmere 90 % av denne reduksjonen oppnås gjennom økt karbonlagring i jord og planter. Dette vil være et tiltak som kan avhjelpe situasjonen på kort sikt (Smith m.fl. 2007).

Binding og lagring av karbon i jord er foreslått som en måte å redusere innholdet av karbondioksid i lufta og slik redusere skadelig klimapåvirkning. I forbindelse med det internasjonale klimatoppmøtet i Paris (COP21) i 2015 tok Frankrike initiativet til «The 4 % Soils for Food Security and Climate», hvor målet er å vise at landbruksjord kan spille en avgjørende rolle for matsikkerhet og klimaendringer. Initiativet bygger på at en årlig økning av karbonlageret i jord med 4 promille kan stoppe økningen av CO₂-konsentrasjonen i atmosfæren. (<https://www.4p1000.org>)

Bárcena m.fl. (2016) har vurdert mulighetene for en 4 % årlig økning i karboninnholdet i norsk jord. Teoretiske beregninger viser at dersom en kan oppnå en årlig binding på 4 promille i jord, ned til 40 cm, tilsvarende ca. 30 - 40 kg karbon per dekar, så vil det utgjøre i størrelsesorden 320 000 – 400 000 tonn karbon.

Utfordringen for bønder og klimaforskere er at de aller fleste typer organisk materiale som tilføres jord tas i bruk av jordlivet omdannes i løpet av noen få år, og dermed inngår i karbonkretsløpet som CO₂ på nytt. Klarer vi å utvikle driftsmåter som sørger for at en større andel av karbonet kan lagres over lenger tid i jorda, kan imidlertid jordkarbon gi et viktig bidrag til å redusere klimagassutslippene fra landbruket.

Denne rapporten har som mål å gi et bilde av kunnskapsstatus for karbonbinding i jordbruksjord. For å kunne utvikle jordbruksmetoder som bidrar til lagring av mest mulig karbon i jord, er det viktig å

forstå prosessene knytta til nedbryting, omdanning og oppbygging av organisk materiale i jord. Rapporten omfatter en gjennomgang av kunnskap knyttet til dette.

Organisk materiale i jord og jordliv har alltid hatt en viktig rolle i økologisk landbruk. Dette kommer til uttrykk i regelverket for driftsformen, bla. betydningen av eng i vekstskiftet, bruk av husdyrgjødsel og annen organisk gjødsel. Undersøkelser tyder på at en økologisk driftsform bidrar til et høyt innhold av organisk innhold i jorda (Ghabbour m.fl. 2017, Gattinger m.fl. 2012, Smith m.fl. 2011). Rapporten omfatter en presentasjon av resultater fra disse studiene.

Produsenter, rådgivere og forskere arbeider med å utvikle driftsmåter som kan bidra til å lagre mest mulig karbon i jord. I dette arbeidet er det nødvendig å utvikle metoder som er tilpasset klima og jordsmonn. Det tar flere år å påvise eventuelle virkninger av en endret driftsform på innholdet av organisk materiale i jord. Rapporten inneholder en presentasjon av ulike teorier, undersøkelser og prosjekt som arbeider med lagring av karbon i jord.

Biokull er rester av biomasse som er delvis forkullet i en pyrolyseprosess. Karbonet i biokull er svært motstandsdyktig mot nedbryting. Hohle (2016) hevder at tilførsel av biokull i jordbruksjord vil være et svært viktig tiltak for å øke innholdet av karbon i åkerdyrking, men at metoden ennå ikke er ferdig utviklet. Rapporten omhandler biokull og ulike sider av bruken av dette i jord.

På bakgrunn av kunnskapsgjennomgangen avsluttes rapporten med noen forslag til videre arbeid knyttet til lagring av karbon i jord.



Foto: Maud Grøtta, Landbruk Nordvest

2 Karbon i jord

Innholdet av organisk karbon i jord bestemmes av balansen mellom tilførsel og frigjøring til atmosfære og vann. Fotosyntesen og plantenes respirasjon er de viktigste prosessene som styrer om karbonet er i jorda eller i lufta. Plantene binder karbon fra lufta via fotosyntesen. Jordlivet bruker energien i det organiske materialet og gjør samtidig næringsstoffer fra dette materialet og fra jordpartiklene mer tilgjengelige for planterøttene.

Nedbrytningshastigheten av organisk materiale i jord er tilnærmet proporsjonal med mengden organisk karbon i jorda (Riley & Bakkegard 2006). Av dette utleder Bárcena m.fl. (2016) at

- Ved høyt C-innhold vil det kreves større tilførsel av organisk materiale for å opprettholde likevekten enn ved lavere innhold
- Potensialet for karbontap øker med økende karboninnhold i jorda
- Potensialet for karbonopptak er størst når karboninnholdet i utgangspunktet er lavt

2.1 Mye karbon i levende røtter, litt i jordliv og humus

Plantenes evne til å transportere karbon ned i jorda varierer, avhengig bla. av omfanget av rotsystemet. Omtrent halvparten av det som transporteres til røttene, kan finnes igjen som røtter. En tredjedel blir til CO₂ ved respirasjon fra røtter og mikroliv, mens resten blir værende i jordorganismer og organisk materiale (Kuzyakov & Domanski 2000). Omgjort til et praktisk eksempel tilsvarer det at av 100 g karbon fra atmosfæren som blir bundet i grasplanter er 70 g overjordiske plantedeler, ca. 20 g er i røtter, 3 g C forbrukes av røtter og jordliv og ender som CO₂, mens mindre enn 7 g blir innarbeidet i bakterier, sopp og organisk materiale i jorda.

Karbon i stadig bevegelse

I plantenes fotosyntese omdannes solenergi, CO₂, vann og næringsstoffer til sukker og andre karbonholdige molekyler. De fleste organismene i jorda bruker karbonholdig materiale som energi- og næringskilde for egen vekst, de lager det ikke selv. Dette karbonet tilføres jorda gjennom planterester på jordoverflaten og rotmateriale. Dette rotmaterialet omfatter selve røttene og det plantene skiller ut i rotsonen mens de vokser, kalt roteksudater (Pommeresche & Swensen 2016a). Planterøtter kan skille ut 5-20 % av karbonet fra fotosyntesen som ulike roteksudater (Derrien m.fl. 2004, Marschner 1995), og Jones m.fl. (2009) viser til ulike hypoteser for hvordan plantene også kan ta opp karbonholdige stoffer fra jorda.

Jordlivet bruker energien i det organiske materialet og gjør samtidig næringsstoffer fra det samme materialet og fra jord- og mineralpartiklene mer tilgjengelige for planterøttene. Når mikroorganismer, nematoder, spretthaler, midd og meitemark vokser, vil noe karbon bli bygd inn i kroppene deres. Samtidig vil noe bli brukt som energi, som igjen blir omdannet til karbondioksid.

Karbon bygges for eksempel inn i stabile cellulose- og ligninmolekyler som danner celleveggene i stalker, røtter og blad hos planter, i kitinmolekyler som er viktige i skallet til insekter og jordmidd, samt i forbindelser som trehalose og glomalin i sopphyfer (Gobat m.fl. 2004, Stevenson 1994). Når planter og organismer dør blir disse og andre molekyler bygd om og inn i humusmolekyler i jordaggregatene. Karbonlagringen i jord er dermed mye mer dynamisk og kompleks enn mange tror.

I jorda blir mye av karbonet brukt, mens bare litt av karbonet lagres. Dette betyr at det jevnlig må tilføres nytt karbon dersom noe skal lagres.

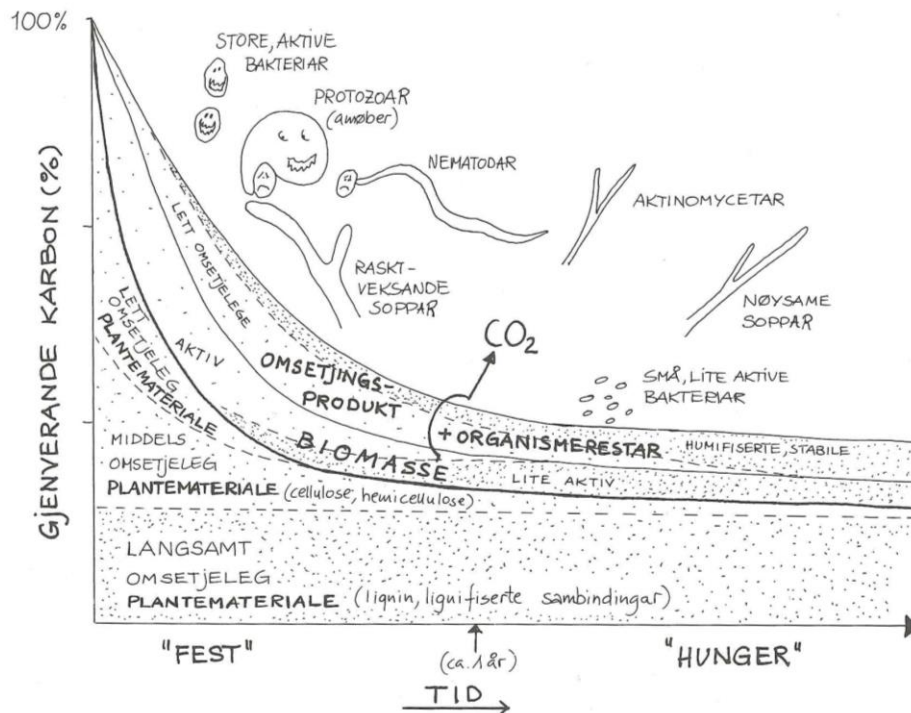


Fig. 1. Skjematisk framstilling av hvordan en porsjon av ferskt organisk materiale omdannes i jorda og hvordan det virker inn på mikroorganismenes aktivitet. Ill.: Bibbi Thorbjørnsen, fra Breland (1992)

En tredel av karbonet er igjen etter ett år

Forsøk viser at ett år etter at døde planterester er tilført jorda, vil mindre enn 1/3 av karbonet fra disse være igjen i jorda, fordelt på levende biomasse (ca. 5 %), humus (20%) og organisk materiale (5%), mens rundt 2/3 er blitt til CO₂ i atmosfæren (Brady & Weil 2008). En liknende fordeling framkom i forsøk på 1960-tallet, hvor ¹⁴C-merket karbon i planterester ble undersøkt. Her ble omtrent 1/3 av karbonet i planterestene funnet igjen i jorda etter første vekstsesong, mest som aktive og stabile deler av humusen i jorda (kilder hos Stevensson 1994). Brorparten av karbonet som tilføres matjordlaget (øverste 30 cm) omsettes og brukes innen samme vekstsesong.

Gras transporterer mer karbon ned i jorda enn korn

Fordeling mellom hva som er overjordisk og underjordisk karbon i plantene varierer med plantens utviklingsstadium, årstid og plantearter. Korn kan transportere 20-30 % av karbonet (C) som bindes ved fotosyntesen ned i jorda, mens eng og beiteplanter kan transportere mellom 30-50 % (Kuzakov & Domanski 2000, Jones m. fl. 2009, Lützow m. fl. 2006).

Kuzakov & Domanski (2000) har gjennomgått mange ulike studier som prøver å spore hvor mye karbon som kommer fra korn og gras og ned i jorda. De konkluderer med at grasplantene totalt over en vekstsesong transporterte 220 kg C/daa ned i røtter og jord og korn flyttet 150 kg C/daa

(Kuzakov & Domanski 2000). Både korn og grasvekter tilfører jorda karbon, men grasplanter har lengre vekstsesong og det er noe av forklaringen hvorfor de tilfører mest karbon til jorda. Grønne vekster som underkultur og fangvekster i korn og grønnsaker vil utfra dette forlenge sesongen og øke den potensielle innbindingen av karbon.

2.2 Begrepsforvirring og uenighet

Det råder en del uenighet og mangel på kunnskap, også i vitenskapelige kretser, om flere av problemstillingene knytta til jordkarbon eller bruk av begreper, som organisk materiale i jord (*eng.*: soil organic matter, SOM) og organisk jordkarbon (*eng.*: soil organic carbon, SOC) (f.eks. Gómez-Sagasti m.fl. 2018, Stockman m.fl. 2013, Marriott & Wander 2006). Lehmann & Kleber (2015) diskuterer ulike teorier omkring omdanning av organisk materiale i jord og setter spørsmålstegn ved begrepet humus.

Forskjellen mellom *karbon-deponering*, på engelsk «carbon sequestration» og *karbonlagring*, på engelsk «carbon storage», kommer også sjelden fram. Chenu m.fl. (2018) legger vekt på at lagring og deponering av karbon er to forskjellige ting, siden deponering forutsetter netto fjerning av atmosfærisk CO₂. Karbonlagring definerer de som økning i lageret av organisk karbon i jord over tid, men som ikke nødvendigvis er knyttet til netto fjerning av CO₂ fra atmosfæren. Dette er det viktig å være klar over i forbindelse med krav om klimagassreduksjoner og karbonlagring innen landbruket.

Ved tolkning av ulike forsøksresultater er det nødvendig å kjenne metodikken som er brukt ved måling av karboninnhold i jord. I Norge brukes glødetap som mål, og en endring av temperaturen i prosessen vil kunne gi ulike resultater. I tillegg er mengde organisk materiale, målt som glødetap, forskjellig fra mengden som måles ved omregning fra mengde CO₂ dannet etter brenning av jord, slik det gjøres i noen land.

Ulik bruk av begreper gjør også tolkning og sammenligning av resultater mer komplisert. Bruk av begrepene *mold* og *humus* kan forveksles med begrepene *organisk materiale i jord* og *jordkarbon*.

Målinger av karboninnhold i jord er komplisert. Jord er et heterogent materiale. Innholdet av karbon kan variere innenfor svært små avstander i samme type jord, og variere i løpet av sesongen og året. Eventuelle varige endringer i karboninnholdet i jord må måles over lang tid. Enkeltmålinger av innholdet kan forstyrres av effekter av enkelttiltak bonden gjør. Endringer mellom enkeltår kan forstyrre bildet av den langsiktige utviklingen (Röös m.fl. 2013). I temperert klima vil det ta 100 år eller mer å nå ny likevekt av organisk materiale i jorda når bruken av jorda endrer seg (Christensen & Johnston 1997, sitert i Foereid & Høgh-Jensen 2004).

Alle disse uklarhetene i bruk av begreper og usikkerhet om hvilken metodikk som er brukt i målinger gjør arbeid med kunnskapssammenstillinger komplisert, krever oppmerksomhet i forskning og presise formuleringer i formidlingsarbeid.

2.3 Humus og mold

Organisk materiale i jord kan defineres som molekyler som inneholder karbon (C) og som stammer fra planter eller dyr. Begrepet organisk materiale kan også inkludere *levende* planter og større jordlevende organismer, men det vanligste er å bruke det om *dødt organisk materiale i jord*.

Målinger viser at omdannet organisk materiale i jord (eng.: Soil organic matter, SOM) i snitt inneholder rundt 50 % karbon, og dermed er et viktig lagringssted for karbon (Stockmann m.fl. 2013, Pribyl 2010). Mold og humus brukes vanligvis om den mer omdannede delen av det døde organiske materialet i jord, men det er ikke alltid klart hva som menes. Både organisk materiale, mold og humus inneholder foruten karbon også oksygen, hydrogen, nitrogen, svovel og andre stoffer (Stevenson 1994, Ottow, 2011).

Humusmolekyler er en ikke-homogen del av omdannet, dødt organisk materiale i jorda (Ottow 2011). De er som snøkrystaller; de har komplekse strukturer, noen kan være store, noen små, men ingen er helt like (Pommeresche & Riley 2018). Til forskjell fra snøkrystaller er noe humus svært stabilt i jorda i mange tiår, men resten av karbonet og de andre stoffene i humusmolekylene brukes av jordlivet og plantene.

Ofte deles humus inn i ulike fraksjoner. Breland (1992) beskriver en tredeling av humus, ut fra gjennomsnittlig nedbrytningstid i jorda; lett, middels og langsomt omsettelig. I en slik inndeling består den lettomsettelige delen av vannløselige stoffer, som sukker og aminosyrer. Den middels omsettelige delen består særlig av polysakkarider som cellulose og hemicellulose. Den tyngst omsettelige delen inneholder særlig lignin.

En todeling, i næringshumus og stabil humus, er vanlig i tysk faglitteratur. Næringshumus er tilgjengelig næringsstoffreservoar for planter og jordliv. Stabil humus er det mer kjemisk/fysisk stabiliserte organiske materialet i humussyrer og leirhumuskomplekser (Ottow 2011). Den stabile humusdelen kan ses på som matskapet for jordliv og planterøtter, mens næringshumusen er matvarene inne i skapet. Jordlivet som omdanner organisk materiale, samt kjemiske og fysiske prosesser i jorda vil da bidra til at molekyldeler bygges på skapet (stabil humus) og tilføres som matvarer inne i skapet (næringshumus). Hvor lenge karbonet blir i jorda vil avhenge av hvor i dette systemet det er. Aktivt karbon er i matvarene og i selve jordlivet og stabilt karbon i selve skapet. For at det skal dannes nye humusmolekyler av ulike typer, må byggesteinene og organismene som trengs være tilstede.

Flere forskere mener imidlertid at alle karbonholdige molekyler i ulike faser av omdanningen, både små og store, stabile og ustabile, bør inngå i begrepet organisk materiale/humus/mold og ikke bare «stabile humusstoffer» (Lehmann & Kleber 2015, Schmidt m.fl. 2011, Masoom m.fl. 2016). Dette kan underbygge inndelingen i en tilgjengelig del (næringshumus) og en mer stabil del (stabil humus). Denne mer overordna definisjonen støtter oppfatningen av at jorda som økosystem danner humus og mold. Slik kan en betrakte denne omdanningen som en økosystemtjeneste (Schmidt m. fl. 2011, Pommeresche & Swensen 2016b). Dette kan også bidra til å forklare hvorfor karbon lettere tapes fra arealer uten plantevekst og jordliv. Ulike definisjoner av humus/mold og organisk materiale kan også forklare hvorfor forskere er uenige i hvordan og hvor lenge ulike karbonmolekyler lagres i jord.

2.3.1 Ulike prosesser for karbonlagring

Flere prosesser bidrar til dannelse av humus, og derigjennom karbonlagring.

1. **Nedbryting av organisk materiale.** Under nedbryting, når bakterier, sopp, meitemark og andre jordorganismer spiser på det organiske materialet, vil humusmolekyler dannes. Humusmolekyler dannes rundt og av skjelettresten av organiske molekyler, særlig fenolske polymerer, cellulose, lignin, suberin og andre komplekse organiske molekyler (Gobat m.fl. 2004, Stevenson 1994, Lützow m.fl. 2006).
2. **Mikrobiell biosyntese.** En del mikroorganismer lager nye typer molekyler som kan inngå i humusmolekyler. Eksempelvis *stabile* polysakkarider (Gobat m.fl. 2004), glomalin fra mykorrhizasopp (Wright & Upadhyaya 1998), trehalose i ulike celletyper (Elbein m.fl. 2003) og kitin. *Mindre stabile molekyler*, som en del polysakkarider, aminosyrer, alkoholer, peptider og quinoner som sopp og bakterier lager, kan også inngå i humusmolekylene (Stevenson 1994). I tillegg er DNA og proteinrester fra døende celler kilder til humusmolekylene (Pepper m.fl. 2015). Mikrobielle produkter, samt levende og døde bakterier og soppceller viser seg også å være viktige bestanddeler av organisk materiale i jord (Schmidt m.fl. 2011, Miltner m.fl. 2012).
3. **Humusmolekyl dannes av molekyldeler.** I disse prosessene bindes flere av stoffene nevnt i punkt 1 og 2 sammen i *polymeriserings*-prosesser. I disse prosessene vil ulike polare molekyler, noen med negativ og andre med positiv overflate/deler, binde seg til hverandre (Gobat 2004, Pepper m.fl. 2015). Noen bindinger mellom molekyldelene kan også skje ved kjemiske reaksjoner ved hjelp av enzymer i jord eller fra mikroorganismer. Noen av delene er i seg selv reaktive og binder seg til reaktive armer på humusmolekylet. Det kan dannes kjeder eller tredimensjonale nettverk.
4. **Leir-/humus-kompleks.** En del karbon vil lagres ved at karbonholdige molekyler eller humusdeler binder seg til de negativt ladde overflatene på leirmineraler eller til metallioner i jorda (Schmidt m.fl. 2010, Lützow m.fl. 2006). Slik sammenkobling av uorganiske og organiske deler skjer i jord og muligens i tarmsystemet til organismer som spiser jord og organisk materiale (Suzuki m.fl. 2003).

Ulike prosesser er dermed med på å bestemme tilgangen av organiske molekyler og karbon til jord. Kompliserte organiske molekylstrukturer (pkt. 1) er ikke alene nok til å forklare mengden av karbon som finnes i form av organisk materiale i jord og at noe er mer stabilt enn det andre (Schmidt m. fl. 2011, Lützow m.fl. 2006, Lehmann & Kleber 2015). En kombinasjon av fysiske, kjemiske og biologiske prosesser avgjør hvor lenge karbonholdige molekyler blir i jorda.

2.4 Stabilisering av karbon i jord

Røtter og mykorrhiza har biologisk, fysisk og kjemisk påvirkning på jordpartikler og dermed også på karbonbinding og -frigjøring. Roteksudater gir ofte økt mikrobiell aktivitet og økt omsetting av organisk materiale (Haichar m. fl. 2014). Karbon i og fra røtter er del av plantens bidrag i karbondynamikken og aggregatdannelse, som vi ikke kjenner fullt ut (referanser hos Pommeresche & Haugerud 2017). Fysisk avstand mellom mikroorganismer og det organiske materialet fører til karbonlagring fordi organismene da ikke kan utnytte karbonet (Schmidt m.fl. 2011, Rasse m.fl. 2005). Malik m.fl. (2016) fant et økt potensiale for karbonlagring i soppdominert jord, men også at både sopp og bakterier var viktige i nedbryting av det organiske materialet. En del karbon vil finnes i levende og døde planterøtter (Rasse m.fl. 2005). Kanskje mer enn tidligere antatt finnes også som molekyler laget og skilt ut i jorda av mikrolivet og i selve organismene i jorda (Miltner m.fl. 2012). Ulike analysemetoder av organisk materiale og jord har vist at stoffer produsert av bakterier og sopp, men også selve cellene til mikroorganismene er viktige deler av organisk materiale i jord i over ett år etter at cellene ble dannet (Miltner m.fl. 2012).

Binding mellom ladde mineralpartikler i jord og ladde organiske molekyler, kalt leir-/humus-komplekser, bidrar til redusert karbonbevegelse fra jord til luft fordi stoffene blir vanskeligere tilgjengelig for nedbryting (Schmidt m.fl. 2010). Det skjer også bindinger mellom metallioner og organisk materiale som senker frigjøringshastigheten av karbon fra jord (Lützow m.fl. 2006). Videre er ulike molekyler og leir-humuskomplekser bundet sammen i ulike typer mikroskopiske jordaggregater, som verner karbon fra nedbryting og utvasking. Det er også funnet mer karbon i meitemarkskit ned i jorda enn i jorda rundt (Pommeresche og Løes 2009). Siden mange prosesser skjer samtidig og i ulik grad, er det bare i grove trekk mulig å forutsi hvor karbonet tar veien.

2.5 Ulike målemetoder for karbon i jord

Det er ulike metoder for å måle innhold av karbon i jord. Standard målemetoder varierer mellom ulike land i Europa. I Norge måles vanligvis mengde organisk materiale i landbruksjord i form av glødetap og så omregnes dette til karboninnhold. Når glødetap skal måles siktes jord gjennom en 2 mm sikt, deretter tørkes jorda ved 105 °C. Deretter måles det hvor mye av jorda som brennes opp ved 550 °C. Vekttapet, som % av tørr jord, oppgis som innhold av organisk materiale i jord. I mange tyske analyser blir også jordprøven brent, og mengde CO₂ som dannes i gassen måles. Dermed framkommer et mer direkte mål på innholdet av organisk *karbon*. Analyser av dødt organisk materiale i jord, og diskusjoner over år, har resultert i at både organisk materiale, mold og humus generelt sies å inneholde 50 - 58 % C (Stevenson 1994, Pribyl, 2010).

Glødetap = innhold av analysert karbon x 2

Derfor er det viktig å vite om det er innhold av organisk *karbon* (eng.: Soil organic carbon, SOC) eller innhold av humus/mold/organisk materiale (SOM) som er målt og hvilken metode som er brukt hvis det er behov for å sammenligne innholdet av organisk materiale og karbon i jord. Det er ikke klarhet i hvordan disse begrepene og tallene brukes når analyser fra flere land sammenliknes. Det aller

viktigste er å dividere glødetapsverdien eller moldinnholdet og ikke bruke verdien direkte når vi snakket om *jordas karboninnhold*.



Planterøtter skiller ut ulike roteksudater som sammen med jordliv danner jordaggregater som en slags «jordpels» på røttene. Foto: Reidun Pommeresche

3 Karbon i norsk jordbruksjord

Det er fra naturens side ingen automatikk i å lagre store mengder karbon i jord hvor det samtidig produseres og høstes store avlinger. Det er utfordrende å skulle øke denne mengden, sjøl med bare 0,5 prosentpoeng, hovedsakelig fordi mye karbon tas ut i form av produkter som korn, gras og grønnsaker, men også fordi flere av de driftsteknikkene som brukes øker omdanningshastigheten av karbon i jorda.

Blant jordlivet er det rift om karbonet i jorda. Karbonholdige stoffer som blir igjen i jorda brukes av mange jordorganismer som energi og byggeråstoff til ulike livsprosesser. Tall for naturlig likevektsnivå for karboninnhold i Norge fins ikke, men Bárcena m.fl. (2016) har anslått at jordbruksareal på mineraljord, med eng som fornyes sjeldnere enn hvert 10.år, er omtrent i likevekt. Grønlund m.fl. (2008) konkluderer med at potensialet for økt karbonlagring i dyrkajord i Norge er begrenset pga. naturlig høyt karboninnhold og den store andelen grasarealer.

På grunn av det relativt kjølige og fuktige klimaet og en stor andel engareal, er dyrkajordas gjennomsnittlige karboninnhold i Norge relativt høyt. Fotosyntesen har lavere temperaturoptimum enn nedbrytingen av organisk materiale. Derfor har jord i subarktiske områder, som Norge, generelt et høyt karboninnhold (Grønlund & Harstad 2014). Klimaendringer i form av høyere temperatur vil trolig medføre redusert karboninnhold. På Kise i Hedmark økte jordtemperaturen på 1 meters dybde med 1,5 °C i perioden fra 1960 til 2005, med størst økning etter 1980 (Riley & Bakkegård 2006).

Den totale karbonmengden i dyrket jord (ned til 20 cm) i Norge er estimert til ca. 80 millioner tonn. Det fins ikke tall for naturlig likevektsnivå for karboninnhold i norsk jord, men en antar at mineraljord med langvarig eng er omtrent i likevekt. Ut fra glødetapsanalyser av en stor mengde jordprøver tatt i årene 2000-2007, går det fram at gjennomsnittlig karboninnhold i norsk jord med ensidig åkerdyrking er ca. 2,5 % og ca. 3,5 % i jord med langvarig eng. Størst mulighet for økt opptak av karbon er det på jord med et vekstskifte med mye åker, der karboninnholdet er lavt. Det er stort spenn i karboninnholdet i jordbruksjord i Norge og andre land langt mot nord. Dette innebærer større forskjeller i karbonutslipp enn det som forekommer fra jord i sørligere og varmere strøk (Bárcena m.fl. 2016).

Moldinnholdet i norsk åkerjord har blitt redusert over tid, og dette skjer fortsatt. Dette gjelder særlig der moldinnholdet var høyt da det ble oppdyrket (Riley 2017). I jord med lavt karboninnhold skjer tapet fra jord saktere, der er det en lav, men mer stabil likevekt mellom tilførsel og nedbrytning. Langvarige forsøk viser at åkerdyrking reduserer karboninnholdet, særlig gjelder dette jorder med et høyt karboninnhold. Dyp pløying og varmere klima har bidratt til at denne reduksjonen har fortsatt fram til i dag.

Den årlige nedgangen i moldinnholdet i mineraljord på Østlandet har blitt påvist til å være 0,023 g C/100 g jord i tidsrommet 1990-2001. Dette tilsvarer 55 kg C per dekar og år i de øverste 20 cm, forutsatt en volumvekt på 1,2 kg/ liter. Imidlertid ble det samtidig påvist at karboninnholdet økte når utgangspunktet var lavere enn 1,7 % (Riley & Bakkegård 2006).

3.1 Store forskjeller mellom ulike jordtyper

Karboninnholdet i leirjord er ofte høyere enn i sand og silt med enkeltkornstruktur (Grønlund & Harstad 2014). En del av dette kan tilskrives at det i leirjord dannes jordaggregater, noe som bidrar til å beskytte det organiske materialet mot nedbryting (Holeplass m.fl. 2004).

Den bakkeplanerte jorda på Østlandet og i Trøndelag består for en stor del av leirjord. Den inneholder langt mindre karbon og er mer erosjonsutsatt en annen jord i nærheten. Nedbryting av organisk materiale i mineraljord er tilnærmet proporsjonal med karboninnholdet (Grønlund & Harstad 2014). Det betyr at det kanskje ikke kreves så stor tilførsel av organisk materiale i slik jord for å opprettholde eller øke karboninnholdet. Omlegging til eng på slike arealer vil derfor kunne gi positive effekter på karboninnholdet i jorda (Hohle 2016).

Grønlund & Harstad (2014) har estimert det gjennomsnittlige karboninnholdet i dyrkbar myr i Norge til 68 tonn karbon per daa, noe som tilsvarer ca. 250 tonn CO₂. Årlige utslipp av CO₂ og lystgass fra myrjord varierer mye, avhengig av type myr, klima og driftsform. Myrjord er bare i likevekt i naturlig, ugrøftet tilstand. Myrjord med høyt karboninnhold utgjør rundt 7 % av det norske jordbruksarealet, men inneholder likevel ca. 25 % av alt karbon som er lagret i dyrket mark. På grunn av det høye innholdet av karbon i myrjord er tapet fra drenert og dyrka myr langt større enn fra mineraljord, sjøl ved grasdyrking (Bárcena m.fl. 2016). De spesielle forholdene knyttet til myrjord vil ikke bli diskutert videre i denne rapporten.

Rapporten «Landbruk og klimaendringer» konkluderer med følgende mht. økt karboninnhold i norsk jord, knytta til ulike jordtyper og bruk av jorda (Hohle 2016):

- *Karboninnholdet i dyrket jord i Norge er allerede høyt pga. betydelig andel dyrket myr, kjølig og fuktig klima som hindrer nedbrytning av organisk materiale og en stor arealandel med gras. For langvarig gras og beite der karboninnholdet er nær likevekt er det begrensede muligheter for økning.*
- *For myr dyrking er utfordringen å begrense karbontapet.*
- *For langvarig eng og beite med karboninnhold nær likevekt kan potensialet for ytterligere tilvekst være rundt 1 ‰ per år.*
- *Areal med ensidig åker dyrking antas å ha fortsatt nedgang i karboninnholdet. Økt temperatur kan påvirke nedbrytningen. Det er potensiale for å redusere denne nedgang (og dermed forbedre lager og flukser for arealene totalt sett) ved tiltak som vekstskifte, bruk av vekster med dypere rotsystem, dypere nedpløying f.eks. av halm. Det er imidlertid mangelfull dokumentasjon av slike tiltak.*
- *Omlegging av åker til gras vil med stor sannsynlighet kunne øke karboninnholdet i jorda med minst 4 ‰ årlig, men i totalvurderingen må en også ta med metanutslipp ved fordøyelse av gras og effekt på import av kraftfor i husdyrproduksjonen. Dersom en omlegging fra åker til gras på bakkeplanert jord kan følges opp med et kryssbytte fra gras til åker på ikke-planert jord vil det kunne gi netto karbonopptak.*
- *Tilførsel av biokull er tiltaket med forventet størst potensial (tilnærmet ubegrenset) for karboninnhold ved åker dyrking, men det krever teknologiutvikling og utprøving.*

4 Driftsformens betydning for innhold av organisk materiale i jord

Karbonbalansen i jord påvirkes av mange faktorer og prosesser som har betydning for tilførsel og tap. Fotosyntesen er sentral for tilførsel av karbon, og faktorer som bidrar til økt fotosyntese på stedet vil derfor også bidra til økt karboninnhold. Andre naturgitte forhold som påvirker fotosyntese og nedbryting av organisk materiale er temperatur og fuktighet. Under europeiske forhold øker karboninnholdet i jord gjerne med økende vanninnhold (Bárcena m.fl. 2016).

Ikke bare påvirkes karboninnholdet i jord av de naturgitte forholdene, men også av dyrkingsmetodene, ikke minst fordelingen mellom åpen åker og eng i vekstskiftet og bruk av organisk gjødsel. Grønlund m.fl. (2008) rangerer effekten av ulike dyrkingssystem slik:

- Varig eng (opptil + 100 kg C/daa per år)
- Vekstskifte gras/åker, direktesådd korn, åkerdyrking med husdyrgjødsel (+ 0-20 kg C/daa og år)
- Åkerdyrking med redusert jordarbeiding, fangvekster eller nedmolding av halm (+ 0-10 kg C/daa og år)
- Ensidig åkerdyrking med høstpløying (÷ 30-60 kg/daa og år)

I flere vestlige land er det påvist at intensive driftsmåter i jordbruket reduserer innholdet av organisk materiale i jord. Gjennomsnittlig ble innholdet av organisk materiale i britisk jordbruksjord halvert i løpet av de siste 20 årene av forrige årtusen (Pretty 2001). I løpet av 20 år rundt tusenårsskiftet økte antall områder i Belgia med åkerjord med et innhold av organisk materiale under det optimale nivå fra 23 til 50 % (Mullier m.fl. 2006, i Mondelaers m.fl. 2009).

Mange steder på Østlandet har endringen fra allsidig drift til åkerbruk med ensidig korndyrking ført til en gradvis nedgang i karboninnholdet i mineraljord. I snitt for alle områder på Sør-Østlandet gikk innholdet av organisk materiale i perioden 1990-2001 ned med 1,03 prosentpoeng. I Hedmark var nedgangen størst, med 1,81 prosentpoeng (Riley & Bakkegard 2006).

I driftssystemforsøket på Apelsvoll var nedgangen i organisk innhold størst i jorda med vekstskifter uten eng i perioden 1988 til 2003. Men også i jord med eng i vekstskiftet ble mengde organisk materiale redusert (Riley m.fl. 2008).

Områder med Middelhavsklima har ofte jord med lite organisk materiale. Økt innhold av organisk materiale kan gjøre jorda mer motstandsdyktig mot klimaendringer og bidra til å redusere klimagassutslippene. Dette har blitt undersøkt av Aguilera m.fl. (2013) i en meta-analyse. Studien omfattet 174 data-sett fra i alt 79 studier. Endringer i innhold og lagringsevne av organisk materiale i jord ved ulike anbefalte driftsmåter har blitt sammenlignet med nærliggende jordarealer drevet konvensjonelt. Størst lagringsevne hadde de driftsmåtene som tilførte mest organisk materiale. Redusert jordarbeiding fremmet også lagringen av karbon. Driftsmåter hvor tilførsel av organisk materiale og dekkvekst eller redusert jordarbeiding ble kombinert la forholdene godt til rette for karbonlagring i jorda (Aguilera m.fl. 2013).

4.1 Plantemangfold i eng og bruk av belgvekster

Selv om det generelt er et høyere innhold av organisk materiale og dermed karbon i jord under eng enn der det dyrkes åkervekster, vil også måten enga drives på og botanisk sammensetning påvirke hvor mye karbon som lagres i jorda.

Ei god beitedrift vil øke innholdet av organisk materiale, mens kontinuerlig, sterk beiting og degraderte beiter vil senke innholdet av jordkarbon også i beitemark (Conant 2010). Det er imidlertid vanskelig å øke innholdet av organisk materiale i jorda utover den naturlige likevekten for den aktuelle jorda i det aktuelle klimaet. Dette kan illustreres slik:

Mer karbon kan lagres i jorda dersom en i vekstskifter med kortvarig eng lar enga vare lenger, eller går over til varig eng (Soussana m.fl. 2010).

Økt plantediversitet ser ut til å øke karbonlagring i eng i forhold til monokultur. Steinbeiss m.fl. (2008) fant at det allerede etter 4 år ble økt karbonlagring ved større plantediversitet i 0-20 cm dybde. Lenger ned i jorda ble det mindre nedgang i karboninnholdet ved større plantediversitet. McNally m.fl. (2015) fant at ved å utvide den botaniske sammensetningen i ei raigras/hvitkløver-eng med sikori, smalkjempe og luserne økte innholdet av karbon i jorda ned til 30 cm med 120 kg per daa. Dette skyldes større rotvekst lenger ned i jordprofilet enn ved bare raigras/hvitkløver. Gregorich (2001) konkluderte tilsvarende med at et vekstskifte med luserne ga større rotvekst og mer karbonlagring enn ved ensidig maisdyrking. Maisdyrking tilbakeførte mer organisk materiale, men vekstresten fra luserne, spesielt røttene, var mer bestandige.

Også ved bruk av andre engbelgvekster enn luserne blir det høyere karbonlagring enn ved en grasart i monokultur. Jensen m.fl. (2012) konkluderer med at data fra beite, dyrking av eng og åkervekster indikerer at belgvekster spiller en viktig rolle for lagring av karbon. Dette skyldes at det må være en balanse mellom karbon- og nitrogentilførsel til jorda for at karbonet skal bli lagret og at belgvekster forsyner systemet med mer nitrogen for lagring av karbon enn det korn og grasarter gjør. Dette også når korn og gras blir gjødslet. Mange av disse undersøkelsene har blitt gjort under andre dyrkingsforhold enn det vi har her i landet. Hvordan dette slår ut under de kjølige forholdene vi har i Norge er derfor mer usikkert.

Belgvekster bruker energi fra fotosyntesen til å binde CO₂ fra lufta, mens produksjon av kunstgjødselnitrogen fører til utslipp av fossilt nitrogen (Jensen m.fl. 2012). Dette er en annen effekt av bruk av belgvekster på det globale CO₂-regnskapet.

4.2 Langsomme prosesser

Mange prosesser i jord er langsomme. Ulike effekter av dyrkingstiltak er derfor ikke målbare før etter lang tid. Langvarige feltforsøk er derfor svært nyttige for å kunne måle effekter av f.eks. ulike vekstskifter og ulike gjødslingsstrategier.

Bai m.fl. (2018) undersøkte mange ulike langtidsstudier i Europa og Kina og konkluderte med at tilførsel av organisk materiale økte innholdet av organisk materiale i jorda sammenlignet med der det ikke ble tilført. Vekstskifte økte innholdet mer enn monokultur, ingen jordarbeiding (*eng.*: no-till) mer enn vanlig jordarbeiding, mens økologiske driftsformer hadde noe høyere innhold av organisk materiale enn konvensjonelle (Bai m.fl. 2018).

Langvarige vekstskifteforsøk på Ås i Akershus

I 1953 ble det anlagt et feltforsøk på Ås, med tre 6-årige vekstskifter. Alle tre omfattet korn; ett med bare korn, ett inneholdt også 3 år med rot- og oljevekster og ett hadde 4 år med eng. Det var tre nivåer for nitrogengjødsling, to med kunstgjødsel og ett med husdyrgjødsel i tillegg til største mengde kunstgjødsel. Forsøket ble anlagt på leirjord med 3,8 % moldinnhold.

Bruk av eng i vekstskiftet var avgjørende for utviklingen av moldinnholdet i jorda over tid. Målinger i 1984 viste en svak økning i moldinnholdet, til 4 %, med 2/3 eng i omløpet, forutsatt at det ble brukt husdyrgjødsel. Ved bruk av bare mineralgjødsel i det samme vekstskiftet var det ingen endring i karboninnholdet i jorda. Med 1/3 eng i vekstskiftet ble moldinnholdet redusert, men noe mindre når husdyrgjødsel ble brukt. Størst reduksjon i moldinnholdet ble det med ensidig korndyrking med bare mineralgjødsel, sjøl om halmen ble pløyd ned (Riley 2017, etter Uhlen 1991).

I 2001 ble innholdet av organisk karbon målt på nytt. Karbonlagringen i jorda hadde da økt med 7,7 - 16,7 kg C per daa og år ved å øke N-gjødslinga i form av kunstgjødsel fra laveste til høyeste nivå. Karbonlagringen økte ytterligere ved tilførsel av husdyrgjødsel, med 4 - 16,2 kg C per daa og år. (Holeplass m.fl. 2004).

Jordas karboninnhold ble målt i 2012. I jord brukt til vekstskifte med eng i tillegg til korn var innholdet av jordkarbon 17-20 % høyere enn i jord brukt til ensidig korndyrking eller korn med rotvekster i vekstskiftet. Endringen i karboninnholdet i jorda i løpet av de 60 åra forsøket varte ble også målt. Sammenlignet med karbontapet ved monokultur korn ble karbontapet redusert med 27 % i vekstskiftet med 2 år eng og med 65 % der det var 4 år eng i vekstskiftet (Uhlen m.fl. 2017).

Total mengde nitrogen i jord og jordaggregater ble også undersøkt. Måling av størrelse og vannhusholdningskapasitet for jordaggregatene ga signifikante forskjeller mellom vekstskiftene, der vekstskiftet med eng var best. Jorda som hadde fått husdyrgjødsel viste tendens til størst aggregatstabilitet. Den høyeste aggregatstabiliteten ble målt i jorda med det høyeste innholdet av jordkarbon. Tilførsel av husdyrgjødsel ga også størst mengde total-nitrogen i jorda (Holeplass m.fl. 2004).

Langvarig gjødslingsforsøk på Møystad ved Hamar

Innholdet av organisk materiale i form av humus i jorda har også blitt målt i det langvarige gjødslingsforsøket på Møystad ved Hamar. Siden 1922 har det vært kontrollruter uten gjødsling, og ruter gjødslet med kunstgjødsel eller husdyrgjødsel. Vekstskiftet har hele tida vært 7-årig, med tre år eng, tre år korn og et år potet. Jorda er karakterisert som lettleire. Dypere pløying på 60- og 80-tallet gav nedgang i humusinnholdet uavhengig av gjødsling. I 1996 hadde den ugjødsle jorda det laveste humusinnholdet (rel. verdi 100). Jord gjødslet med kunstgjødsel hadde noe høyere humusinnhold (rel. verdi 104), mens jord gjødslet med husdyrgjødsel hadde humusinnhold tilsvarende rel. verdi 120.

Humusinnholdet målt i 1996 var høyest på de feltene som hadde fått størst mengde husdyrgjødsel de siste 14 årene før måling (Riley 2016). Fra 2004 til 2007 ble ettervirkningen av de ulike gjødslingene på feltet undersøkt mht. avling. Ettervirkningen av husdyrgjødsel varer lenge, sjøl etter 12 år uten gjødsling gav tidligere bruk en meravling på rundt 20 % i forhold til ugjødslet jord (Riley 2017).

4.3 Bruk av dekkvekst

Bruk av dekkvekst i deler av året hvor jorda ellers hadde ligget naken vil være et viktig tiltak for å øke mengden organisk materiale i jorda. En metaanalyse av 139 sammenligninger, foretatt på 37 ulike steder over hele verden viste at jord med dekkvekst hadde høyere innhold av organisk materiale enn jord uten. Økt innhold av organisk materiale i jorda ble målt med økende antall år med dekkvekst i de sammenligningene som var med i analysen. De mest langvarige forsøkene gikk over 54 år, mens en framskriving av dataene viste at karbonlagringen kunne fortsette i mer enn 100 år, selv om halvparten av total mengde organisk materiale ble lagret i jorda de første 20 årene. Likevekt ble oppnådd etter 155 år med dekkvekst, med et lager på rundt 1,6 tonn organisk materiale per daa ned til 22 cm dybde. Forskerne bak metaanalysen konkluderer med bruk av dekkvekst er et bærekraftig og effektivt tiltak for å redusere klimaendringer (Poeplau & Don 2015).

4.4 Gjødsling

Tilførsel av ulike former for organisk gjødsel øker karboninnholdet i jorda. Bruk av husdyrgjødsel er omfattende og bidrar med mye organisk materiale til dyrkajorda. Ikke minst gjelder dette storfe-gjødsel. I langvarige forsøk gir tilførsel av husdyrgjødsel økt moldinnhold (Riley 2015, Granstedt & Kjellenberg 2008, Fliessbach m.fl. 2007).

Råtnerest

Råtnerest er restproduktet ved biogassproduksjon. En del av det organiske materialet i råstoffene vil bli omdannet i selve biogassprosessen, ved at det dannes metangass, CH₄, og karbondioksid, CO₂. Andelen karbon som omdannes til gass vil variere, avhengig av hvilken form karbonet har i opphavsmaterialet. Möller (2015) angir at mellom 20 og 95 % av opprinnelig karbon kan omdannes

til gass. Det er særlig den lett nedbrytbare delen av det organiske materialet som omdannes i biogassproduksjonen.

Danske forskere undersøkte innholdet av organisk materiale i jorda på lang sikt ved tilførsel av ulike typer organisk gjødsel, blant annet råtnerest. De fant at innholdet på lang sikt ble tilnærmet likt uansett gjødseltype, fordi mengden tungt nedbrytbart organisk materiale var på samme nivå i de ulike typene gjødsel. Uansett håndtering av gjødsla på forhånd endte mellom 12 og 14 % av karbonet i det organiske materialet i jorda i en relativt stabil form (Thomsen m.fl. 2013). I en oversiktsartikkel konkluderer Möller (2015) også med at på grunn av at det er den tungt nedbrytbare delen av det organiske materialet som blir igjen i råtneresten etter biogassproduksjonen, vil dette brytes sakte ned i jorda. På lang sikt vil derfor tilført mengde organisk materiale være tilnærmet likt ved tilførsel av organisk gjødsel eller råtneresten fra den samme gjødsla.

Mineralgjødsel

En vanlig oppfatning er at syntetisk nitrogengjødsel opprettholder eller øker innholdet av organisk materiale i jord fordi økt avlingsnivå også øker mengden planterester som tilbakeføres til jorda (Röös m.fl. 2013, Holeplass m.fl. 2004). Den motsatte effekten ble imidlertid rapportert allerede på 1920-30-tallet (White 1927, Albrecht 1938), lenge før ensidig gjødsling med kunstgjødsel var særlig utbredt.

Amerikanske forskere har sammenlignet nitrogen-innholdet i jordprøver tatt i 1955 og 2005. Prøvene er tatt fra det langvarige Morrow-feltet i Illinois, med ensidig maisdyrking eller mais i vekstskifte med soya eller havre og luserne. Jordprøvene ble tatt ned til 46 cm dybde, på jord gjødslet med syntetisk nitrogengjødsel (ca. 11-16 kg N per dekar og år). Den samlede tilførselen av nitrogen i disse 40-50 årene var mellom 60-190 % større enn det som ble ført bort i maisavlingene. I samme tidsrom sank innholdet av organisk materiale i jorda til tross for økende mengder av planterester som ble tilbakeført. Nedgangen var størst der det var ensidig maisdyrking, noe mindre der mais var en del av et vekstskifte. Nedgangen var størst for hele jordprofilen (0-46 cm), og mindre i det øverste jordlaget. De konkluderer med at mineralsk nitrogen i kunstgjødsel reduserer innholdet av organisk materiale i jorda ved å fremme mikrolivets utnyttning av karbon og nitrogenmineralisering (Khan m.fl. 2007, Mulvaney m.fl. 2009).

Den samme tendensen kom fram i et langvarig dyrkingssystemforsøk i Sveits (DOC-forsøket), hvor økologiske, biodynamiske og konvensjonelle dyrkingssystemer har blitt sammenlignet siden 1978. Etter 21 år hadde innholdet av organisk materiale hatt størst reduksjon der det var brukt kunstgjødsel. I systemene der det ble brukt husdyrgjødsel var reduksjonen mindre, og i jorda med biodynamisk drift, med bruk av kompostert husdyrgjødsel, hadde moldinnholdet hatt en svak økning i samme tidsrom (Fliessbach m.fl. 2007).

4.5 Redusert jordarbeiding

Tap av karbon fra jordbruksjord kan blant annet knyttes til jordarbeidinga. Redusert jordarbeiding har derfor blitt anbefalt som et positivt klimatiltak i jordbruket. Ulike former for redusert jordarbeiding (grunnere pløying, sjeldnere pløying, plogfri jordarbeiding, direktesåing osv.) er innført i mange deler av verden, også i Norge. Redusert jordarbeiding kan redusere tap av jordkarbon, og også redusert jorderosjon og bedre jordkvalitet, men metoden vil ofte også medføre økt bruk av herbicider. Gadermaier m.fl. (2011) fant at redusert jordarbeiding var bra for økt jordfruktbarhet i økologisk landbruk.

Flere undersøkelser har imidlertid vist at det ikke bindes mer karbon i jorda ved redusert jordarbeiding, sammenlignet med pløyd jord, hvis en ser hele jordprofilen under ett (Powlson m.fl. 2011). En metaanalyse, hvor i alt 351 undersøkelser av jord inngikk, studerte effekten av redusert jordarbeiding på mengden organisk materiale i jorda. Alle undersøkelsene hadde pågått i minst ti år. De fleste undersøkelsene var gjort i USA, mens sju av dem var gjennomført i Norden. Redusert jordarbeiding gav høyere konsentrasjonen av organisk materiale i øverste del av jorda (0-15 cm), sammenlignet med intensiv jordarbeiding. Imidlertid var konsentrasjonen i 15-30 cm jorddybde lavere ved redusert jordarbeiding sammenlignet med intensiv jordarbeiding. Forskerne fant at jo lenger målingene hadde blitt utført jo mer karbon var blitt lagret i øverste jordlag (0-15 cm) uten jordarbeiding, sammenlignet med intensiv jordarbeiding. Men de fant ingen tilsvarende økning i karbonlagringen over tid i dypere jordlag (Haddaway m.fl. 2017).

Målinger i norsk jord viser tilsvarende resultater; at redusert jordarbeiding gir mer mold i øverste del av jorda, men øker i liten grad mengden karbon i hele jordprofilen (Riley 2017, Grønlund m.fl. 2008). Tørresen m.fl. (2015) konkluderer med at den viktigste reduksjonen i utslipp av klimagasser ved redusert jordarbeiding skyldes redusert drivstofforbruk og mindre avrenning av næringsstoffer som kan medføre utslipp andre steder, f.eks. i vassdrag. Powlson m.fl. (2014) konkluderer med at plogfri jordarbeiding er gunstig for jordkvalitet og tilpasning til klimaendringer, men at metodens rolle i reduksjon av klimagasser er overvurdert.

4.6 Binding av karbon i temperert klima

Klimaet, i form av både temperatur og fuktighet, har avgjørende betydning for mengden karbon som kan lagres i jorda. Fotosyntesen har lavere temperaturoptimum enn nedbrytning av organisk materiale. Jord i temperert klima har derfor høyere karboninnhold enn i varmere områder, til tross for lavere primærproduksjon (Bárcena m.fl. 2016).

Danske forskere har beregnet potensialet for karbonlagring i dansk jordbruksjord ved bruk av modellering. De fant at potensialet for å øke mengden organisk karbon i mineraljord er begrenset innafor dagens landbruksstruktur. Ved økt tilbakeføring av halm, økt andel eng i vekstskiftet og økt bruk av dekkvekst beregnet de den årlige økte karbonlagringen til 0,5 mill. tonn CO₂, noe som tilsvarer bare 5 % av det danske jordbrukets utslipp av metan og lystgass (Taghizadeh-Toosi & Olesen 2016).

Svenske forskere har gjort en litteraturstudie for å belyse potensialet som svensk jordbruk kan være til å kunne bidra til å senke atmosfærisk CO₂ gjennom karbonlagring i jord. Forfatterne mener at de mest relevante tiltakene for økt karbonbinding i jord vil være økt avlingsnivå, mer bruk av kantsoner, reetablering av myr og større andel flerårige vekster. Men de konkluderer med at potensialet for økt karbonlagring i svensk jordbruksjord er relativt lite hvis ikke mer grunnleggende endringer blir gjort i dagens dyrkingssystem. Eksempel på slike endringer er mer omfattende dyrking av flerårige vekster, bruk av dekkvekster og redusert kjøttforbruk som kan frigjøre arealer fra ettårig fôrvekstdyrking til dyrking av flerårige vekster. Forskerne anser at økt karbonlagring på dyrka arealer i Sverige og Europa ellers ikke vil kunne erstatte utslippsreduksjoner av fossilt karbondioksid, metan og lystgass (Cederberg m.fl. 2012).

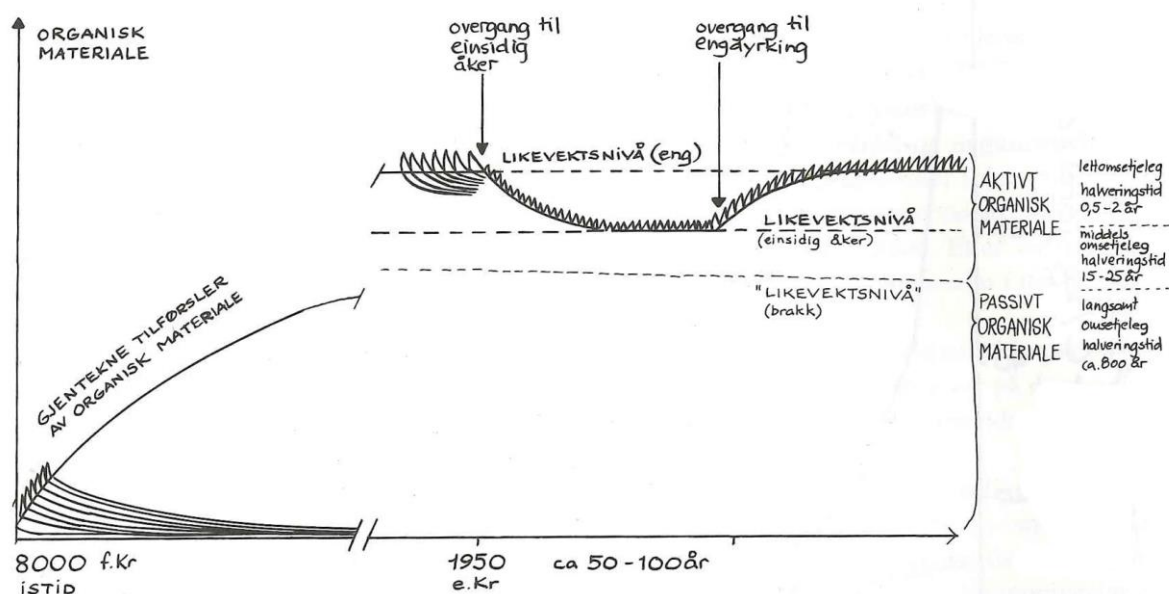


Fig. 2. Oppbygging og nedbryting av organisk materiale i jord med gjentatte tilførsler, over lang tid. Det organiske materialet er inndelt i en «aktiv» og en «passiv» del, og i tre deler utfra omsetningshastigheten. Under våre klimaforhold kan en anta at den lett omsettelige delen har en halveringstid på 0,5-2 år, den middels omsettelig har 15-25 år og den langsomt omsettelige delen har ca. 800 år halveringstid. Utgangspunktet er ei mineraljord med lite eller ikke noe organisk materiale. Ill.: Bibbi Thorbjørnsen, fra Breland (1992)

5 Organisk materiale og karbon i jord ved økologisk drift

I økologisk landbruk benyttes driftsmetoder som øker tilførselen av organisk materiale til jorda. Allsidig drift med eng i vekstskiftet, tilførsel av husdyrgjødsel og annen organisk gjødsel og bruk av jorddekke og dekkvekster tilfører jorda organisk materiale. I økologisk landbruk er vekstskifte med flerårig eng og belgvekster viktig også der det dyrkes korn og andre ettårige vekster, både for næringsforsyning og som forebyggende plantevern. Barbieri m.fl. (2017) sammenlignet vekstskiftepraksis i økologisk og konvensjonell drift over hele verden og fant at vekstskiftene på økologiske gårder var mer mangfoldige og omfattet flere år enn på konvensjonelle gårder.

En svensk gjennomgang av tiltak for at landbruket kan bidra til økt karboninnlagring i jord nevner økt økologisk landbruksareal som et mulig tiltak fordi driftsformen omfatter en kombinasjon av dyrkingsstiltak som bidrar positivt til lagring av karbon i jord, bla. allsidig vekstskifte hvor eng er en viktig del, resirkulering av planterester og bruk av fangvekster. Regelmessig tilførsel av husdyrgjødsel og annen organisk gjødsel er dessuten nødvendig for å lagre karbon i jord (Cederberg m.fl. 2012).

Lorenz & Lal (2016) påpeker at lave avlinger i økologisk landbruk kan gi liten tilførsel av organisk materiale. Sammen med økt mekanisk ugrashåndtering vil det dermed kunne bidra til mindre jordkarbon i jordprofilen ved økologisk drift sammenlignet med vanlig landbruk.

Her gjengis undersøkelser som sammenligner økologisk og konvensjonell drift med hensyn til innhold av organisk materiale og karbon i jord.

5.1 Sammenligninger i ulike land

Flere sammenlignende studier viser at økologisk drift gjerne betyr høyere tilførsel av organisk materiale i form av organisk gjødsel og dermed også mer organisk materiale i jorda enn det konvensjonell drift gir. De forklarer denne forskjellen med de ulike driftsteknikkene som benyttes i økologisk drift, som bruk av vekstskifte, organisk gjødsel og belgvekster (Brock m.fl. 2012, Leifeld & Fuhrer 2010, Marriott & Wander 2006).

I en undersøkelse ble i alt 659 prøver fra økologisk drevet jord og 728 prøver fra konvensjonelt drevet jord i hele USA analysert for organisk materiale (Ghabbour m.fl. 2017). Forskerne fant at jorda fra de økologiske gårdene i snitt hadde 13 % mer organisk materiale enn jorda fra konvensjonelle bruk. De analyserte også hva slags forbindelser det organiske materialet bestod av. De delte det organiske materialet i to: i en lettomsettelig del, hvor karbonet kontinuerlig veksler mellom luft, i form av CO₂, levende organismer og jord, og en mer tungt nedbrytbar del som lagres i jorda over lang tid, dvs. stabil humus.

Det organiske materialet i jorda på de økologiske gårdene i denne undersøkelsen inneholdt i snitt en større andel humus enn det organiske materialet i jorda på de konvensjonelle gårdene, i form av mer stabil humus med humussyrer og fulvosyrer. Ut fra resultatene av undersøkelsen antyder forskerne

at økologisk jordbruksdrift gir sunn jord og bygger og/eller opprettholder organisk materiale i jord mer effektivt enn konvensjonelt jordbruk (Ghabbour m.fl. 2017).

Forskere har foretatt en metaanalyse av 56 ulike prosjekter, med i alt 149 sammenligninger mellom konvensjonell og økologisk drift (Lori m.fl. 2017). De ønsket å kvantifisere eventuelle forskjeller mellom driftsformene mht. jordliv. Registreringene er utført i ulike klimatiske soner og med varighet fra tre til mer enn 100 år. Resultatene av metaanalysen viste at jord som ble drevet økologisk hadde høyere innhold av karbon og nitrogen bundet i jordliv, og høyere aktivitet av dehydrogenase, urease og protease, som er mål på jordorganismenes aktivitet. Det var særlig vekstskifte, bruk av belgvekster og organisk gjødsel som hadde betydning for mikrolivets størrelse og aktivitetsnivå. Mikrolivet påvirkes også av bruken av arealene (åker, fruktdyrking, eng og beite), dyrking av ett- eller flerårige vekster og klimasone (Lori m.fl. 2017).

Mondelaers m.fl. (2009) benyttet en meta-analyse av tilgjengelig litteratur for å undersøke miljømessige forskjeller mellom økologisk og konvensjonell drift, og konkluderte bla. med at jorda på økologiske gårder i gjennomsnitt hadde høyere innhold av organisk materiale.

I Nederland ble karboninnholdet i jord målt på 101 økologiske og 85 konvensjonelt drevne gårder i tre distrikter (Sukkel m.fl. 2008). Målingene ble utført 1998-2006. Den største forskjellen mellom de to gruppene av gårder var mengden tilført husdyrgjødsel, plantekompost og grønn gjødsel, som var størst på de økologiske brukene. Innholdet av organisk materiale i jorda på gårdene i de tre distriktene var i snitt noe høyere i den økologisk drevne jorda sammenlignet med den konvensjonelt drevne jorda. Modellberegninger viste at innholdet av karbon i jorda i løpet av de neste 25 årene vil synke på alle gårdene, men at tapet vil være minst på de økologiske gårdene, hhv. 261 og 401 kg karbon per hektar årlig (Sukkel m.fl. 2008).

Studier av innholdet av organisk materiale i jord i økologisk og konvensjonell drift i Tyskland ble sammenlignet. Det var tilførsel av mer organisk materiale i form av husdyrgjødsel og utformingen av vekstskiftet som gav høyere innhold av jordkarbon i økologisk drift. Ved like stor tilførsel av organisk materiale i de to driftsmetodene var det derimot ingen forskjell (Brock m.fl. 2012).

Leifeld & Fuhrer (2010) analyserte 32 studier der jordas karboninnhold ble sammenlignet på økologiske og konvensjonelle gårder. I gjennomsnitt økte karboninnholdet i jorda 2,2 % årlig etter omlegging til økologisk drift, mens det forble uforandret ved konvensjonell drift. Dette skyldtes hovedsakelig ulikt vekstskifte mellom økologisk og konvensjonell drift og større tilførsel av organisk gjødsel i den økologiske drifta. I de få studiene hvor vekstskifte og mengde organisk gjødsel var tilnærmet likt i de to driftsformene var det heller ikke signifikant forskjell i innhold av organisk materiale i jord mellom de to driftsformene.

En metaanalyse av 74 studier ble gjennomført i 2012 for å undersøke konsentrasjonen av organisk karbon i jord (SOC) ved økologisk drift. Noen av studiene inneholdt også data for totalt lager av organisk materiale i jord, noe som også muliggjorde beregning av potensialet for karbonlagring. Alle de 74 studiene var parvise sammenligninger mellom økologisk og konvensjonell drift. Forskerne fant signifikant høyere konsentrasjon, total mengde og lagringspotensial ved økologisk drift, sammenlignet med konvensjonell drift. De fant også at allsidige vekstskifter med bruk av bla. belgvekster og resirkulering av organisk materiale var det som hadde betydning for forskjellene.

Metaanalysen omfattet bare studier i det øverste jordlaget og bare fra tempererte soner på jorda, forskerne fant ingen studier fra tropiske strøk og heller ikke fra dypere jordlag. De konkluderer med at metaanalysen viser at økologisk landbruk har potensiale til å kunne akkumulere karbon i jord (Gattinger m.fl. 2012).

Engelske forskere har analysert feltforsøk hvor økologisk og konvensjonelle driftssystemer blir sammenlignet med hensyn til lagring av karbon i jord. Seks europeiske og to amerikanske studier ble analysert. I tre av disse studiene var forskjellen på resultatene fra driftsmåtene signifikant, ved at økologisk drift gav mer organisk materiale i jord enn konvensjonell drift. Variasjonen i effekt av økologisk drift var imidlertid stor mellom studiene. Forskerne konkluderer med at økologiske driftssystemer har et stort potensial for å kunne øke karboninnholdet i jorda gjennom bruk av kløverrikk eng og husdyrgjødsel i et allsidig vekstskifte, sammenlignet med ensidige vekstskifter (Smith m.fl. 2011).

I analysen Aguilera m.fl. (2013) gjorde av data fra ulike studier i områder med Middelhavsklima inngikk også økologisk landbruk. Endringer i innhold og lagringsevne av organisk materiale i jord ble undersøkt for ulike driftsmåter. Tilførsel av organisk materiale, bruk av dekkvekst og redusert jordarbeiding la forholdene godt til rette for karbonlagring i jorda. Endringer i innhold av organisk materiale ved økologisk landbruk ble også studert, for i alt 80 datasett fra 30 studier. Resultatene tyder på at det er mengden karbon som tilføres som har størst betydning for akkumuleringen av karbon også i økologiske driftssystem.

Det sveitsiske DOK-forsøket har pågått siden 1978. I forsøket sammenlignes konvensjonelt, økologisk og biodynamisk landbruk i et sjuårig vekstskifte. Jorda med biodynamisk drift opprettholdt nivået for karboninnhold etter 21 år, mens de andre driftssystemene medførte nedgang i karboninnholdet. Konvensjonell drift med husdyrgjødsel medførte 7 % reduksjon og økologisk drift med husdyrgjødsel medførte 9 % reduksjon i innhold av organisk karbon i jord. Uten tilførsel av husdyrgjødsel var tapet størst i jorda som ikke ble gjødslet, med hele 22 % lavere karboninnhold etter 21 år (Fliessbach m.fl. 2007).

Resultatene fra dette forsøket er i tråd med resultatene fra et langvarig feltforsøk på sandjord i Tyskland. Etter atten år var det bare jorda gjødslet med kompostert husdyrgjødsel med biodynamiske preparater som hadde beholdt mengden organisk karbon. Selv med samme mengde husdyrgjødsel ble karboninnholdet redusert der det ikke ble brukt biodynamiske preparater. Endringene skjedde de første årene etter at forsøket startet, mens i de ti siste årene av forsøket var mengden karbon i alle ledd tilnærmet konstant (Raupp 2001). I disse forsøkene har altså kompostert husdyrgjødsel med biodynamiske preparater ikke økt innholdet av organisk materiale i jorda, men denne måten å behandle husdyrgjødsel på har gjort at tilført mengde i større grad har blitt bevart i jorda enn det andre behandlingsmåter har ført til.

5.2 Sammenlignende studier i Norden

Det er gjort noen få sammenligninger mellom økologisk og konvensjonelt landbruk mht. innhold av organisk materiale i jord under nordiske forhold.

På Sjælland ble nabojord som hadde vært drevet henholdsvis økologisk i 40 år og med ensidig åkerkultur i minst 20 år, undersøkt. Karboninnholdet i den økologisk dyrka jorda var 2 %, mens nabojordene inneholdt 1,45 % karbon (Schjønning & Munkholm 2004).

I Järna sør for Stockholm pågikk et langvarig dyrkingsforsøk på leirjord fra 1958 til 1990. Endringer i ulike jordegenskaper ble registrert. I perioden 1991 til 2005 ble bruk av kompostert og ikke kompostert husdyrgjødsel sammenlignet med ugjødslete ruter. Halvparten av rutene ble behandlet med biodynamiske preparater. I utgangspunktet inneholdt leirjordene i overkant av 2 % organisk materiale. Karboninnholdet i jorda (0-25 cm) økte med 40 kg per daa og år i gjennomsnitt i forsøksperioden. Da forsøket ble avsluttet var det i det øverste jordlaget størst karboninnhold der det var gjødslet med husdyrgjødsel. I leddene der det var eng i omløpet økte karboninnholdet fra 2,4 til 2,9 % på 29 år. Ugjødslet og kunstgjødslet jord hadde minst karboninnhold. I 25-35 cm dybde økte karboninnholdet fra 1985 til 1989 i alle ledd gjødslet med husdyrgjødsel, mens leddet med kunstgjødsel og det ugjødsle leddet ikke hadde slik økning. I samme tidsrom økte også karboninnholdet i 50-60 cm dybde. Beregnet mengde organisk karbon ned til 60 cm var 160 tonn der det var brukt kompostert husdyrgjødsel og biodynamiske preparater, 146 tonn der det var brukt fersk husdyrgjødsel og 135 tonn per hektar der det var brukt kunstgjødsel (Granstedt & Kjellenberg 2008). Fra 1991 til 2005 var den årlige gjennomsnittlige økningen i karbon rundt 40 kg per dekar i de øverste 20 cm av jorda for hele feltet. Dette fordelte seg med en økning på 50 kg karbon per dekar og år i jord med tilførsel av kompostert husdyrgjødsel og bruk av biodynamiske preparater, mens det var en økning på 30 kg i jord med ikke kompostert husdyrgjødsel, uten bruk av preparater. Disse resultatene stemmer overens med tidligere forsøk, hvor bruk av biodynamiske preparater økte karboninnholdet i jorda, særlig under pløyselaget (Granstedt & Kjellenberg 2017).

Jorda på 12 gårder spredt over hele Norge ble undersøkt i 1989 og 1995, mens de var under omlegging til økologisk drift. Mengden karbon i jorda hadde økt i løpet av perioden der karboninnholdet var mindre enn 1,7 % i 1989. Forskerne konkluderer med at økologisk drift kan medføre økt innhold av organisk materiale i jorda (Løes & Øgaard 1997).

I perioden 1988 til 2003 var nedgangen i organisk innhold størst i jorda med vekstskifter uten eng i driftssystemforsøket på Apelsvoll. Også i jord med eng i vekstskiftet ble mengde organisk materiale redusert. Det var ingen signifikant forskjell i innholdet av organisk materiale mellom jorda på økologiske og konvensjonelle forsøksruter (Riley m.fl. 2008).

6 Organisk materiale som tilføres jord – håndteringsmåte og jordkarbon

Hvordan det organiske materialet håndteres betyr mye for hvor raskt det omdannes, hva det omdannes til og hvor mye av karbonet i det organiske materialet som bevares. Håndteringsmåter har også innvirkning på faktorer som har betydning for miljø og bærekraftig matproduksjon. Ved evaluering av ulike håndteringsmåter for organisk materiale er det nødvendig å ta hensyn til disse i tillegg til karbonlagringsevne. Aktuelle problemstillinger er:

Hvor mye av det opprinnelige karbonet i det organiske materialet er igjen etter håndtering og før tilførsel til jorda?

Har håndteringsmåte av det organiske materialet før tilførsel til jord innvirkning på karbondynamikken og for karbonbinding i jord?

Hvordan virker ulike håndteringsmåter av organisk materiale inn på omdanningsprosess, utslipp av klimagasser, avling og innhold av uønskede stoffer?

Vanlige håndteringsmåter for organisk materiale er:

- Aerob kompostering: ranke eller reaktor, overflatekompostering, våtkompostering
- Anaerob omdanning eller fermentering
- Anaerob utråtning ved biogassproduksjon
- Både anaerobt og aerobt

Flere av disse håndteringsmetodene er velprøvde og brukes i stor utstrekning overalt i verden.

Det finnes lite forskning som spesifikt sammenligner ulike metoder med tanke på karbonbinding i jord. Mange sammenligningsforsøk omhandler utslipp av klimagasser i prosessperioden, avlingsrespons, virkning på jordliv og jordstruktur. I forsøk er det viktig at det brukes materiale med samme utgangspunkt og at systemforskning inkluderer effekt på jord og jordliv og aller helst over lang tid (Merfield 2012).

Hovedfokus ved kommersiell håndtering av organisk materiale er prosesser som gir tilfredsstillende hygienisering med tanke på for eksempel patogener og ugrasfrø.

En sammenstilling av alle de ulike metodene vil være for arbeidskrevende for denne rapporten. Vi har derfor valgt å utdype fermenteringsmetoden, som er en forholdsvis ny og mindre utprøvd metode, og sammenstille den med rankekompostering som er en mer kjent og utprøvd metode, for blant annet å peke på tema der det er behov for mer forskning.

6.1 Kompostering kontra fermentering

Det finnes mye forskning om effekten av kompostert materiale som gjødsel og jordforbedringsmiddel. Tilsvarende forskning med fermentert materiale er derimot mangelfull, spesielt når det gjelder sammenligninger mellom kompostert og fermentert materiale.

Kompostering og fermentering er i prinsippet to motsatte prosesser. Ved kompostering styres prosessen ved tilførsel av oksygen, der hensikten er en aerob omdanning av det organiske materialet. Ved fermentering ønsker man derimot å hindre omdanning ved å stabilisere/konservere materialet og unngå tilførsel av oksygen. Fermentering er en selvbegrensende prosess. I starten bruker anaerobe bakterier små mengder materiale som energi og næring og produserer ulike stoffer som melkesyre, smørsyre, eddiksyre og biologisk aktive stoffer som for eksempel streptomycin (antibiotikum) og det skjer en senkning av pH. Noe organisk nitrogen omformes til ammonium. Disse stoffene, i tillegg til fravær av oksygen, stopper videre nedbrytning/omdanning (Merfield 2012). Ved fermentering bør utgangsmaterialet inneholde mer «lettfordøyelig» materiale, og ha lavere C/N-forhold, enn ved aerob kompostering. Det kan også inneholde mer fuktighet.

Ved fermentering av organisk materiale brukes ofte tilsetning av mikroorganismer der hensikten er å sikre og stimulere en god fermenteringsprosess. Mange produkter til dette formålet er produsert med basis i et patentert produkt, EM 1[®], som ble utviklet i Japan av T. Higa. Akronymet EM står for Effektive Mikroorganismer og basisproduktet inneholder melkesyrebakterier, fotoautotrofe bakterier og gjærsopper. Bokashi (mye omtalt som Bokashikompostering) er en fermenteringsmetode som i senere tid har fått stadig økende oppmerksomhet og utbredelse, spesielt ved hjemmehåndtering av organisk materiale. Ved Bokashi-fermentering tilsettes et spesifikt EM-produkt.

Merfield (2012) har i en rapport til Gisborne District Council i Storbritannia listet opp ulike momenter og sammenlignet effekten av fermentering kontra kompostering av organisk husholdningsavfall for disse ved tilførsel til dyrkingsjord. Oversikten på neste side viser det som er mest aktuelt for karbondynamikk i jord, ifølge denne rapporten.



Foto: Kirsty McKinnon

Tabell 1. Sammenligning av kompostering kontra fermentering for håndtering av organisk husholdningsavfall. Oversatt til norsk fra Merfield (2012).

Moment	Fermentering	Kompostering
C/N-forhold i oppstartsmaterialet	Fungerer best med materialer med høyere* C/N-forhold, f.eks. matrester	Trenger C/N-forhold 25-30/1, matrester behøver tilsetning av karbonrikt materiale
Vanninnhold	Trenger/fungerer med høyere vanninnhold, f.eks. > 30%	For høyt vanninnhold kan hindre omdanning
Forandring i næringsinnhold	Ingen forandring	Store mengder C, O, H, N, og vann er tapt til atmosfæren
Kjemisk forandring	Begrenset forandring, det meste av materialet er uforandret	Betydelig forandringer fra mer komplekse til enkle organiske molekyler og uorganiske stoffer
Poding	Poding nødvendig for å oppnå homogen masse	Ingen poding nødvendig
Potensiale for miljøforurensning ved spredning/tilføring	Utslipp av drivhusgasser ved tilføring av fermentert materiale trenger verifisering og andre potensielle årsaker til forurensning må undersøkes	Riktig prosessert kompost skal ikke ha noe potensiale for produksjon av andre drivhusgasser enn CO ₂ . Ammoniakk kan fortsatt slippe ut. Avrenning må håndteres.
Prosesstid	Avhengig av ekstern temperatur. Varierer fra 1 til 6 uker	I lukket beholder vil en varm og godt styrt kompostering trenge 1-4 uker
Lagring	Oppbevares lufttett til materialet skal brukes. Beste lagringsplass er antagelig i beholderen der massen ble fermentert	Kompost kan lagres i haug på jorden der den skal brukes (kort tid, eks. 1-2 uker) eller helst på et fast underlag med dekke ved lengre tids lagring

*Merknad til tabellen: Merfield har skrevet at fermentering fungerer ved «høyere» C/N-forhold. Det er ikke angitt hva som menes med «høyere». Andre steder i teksten anbefaler han imidlertid et lavere C/N-forhold, så «høyere» er antagelig en skrivefeil i tabellen. Videre har han skrevet under kjemisk forandring at det ved kompostering skjer en «Betydelig forandring fra mer komplekse til enkle organiske molekyler og uorganiske stoffer». Ved kompostering skjer det også en oppbygging av komplekse molekyler.

Merfield (2012) har også skissert følgende teoretiske antagelser av virkningen av fermentert materiale:

- Fermentert materiale vil ha større positiv effekt på jordlivet siden det fremdeles består av lett tilgjengelig mat og energi. Kompostert materiale (humus) kan regnes som sluttproduktet i et jordøkologisk system og vil derfor ikke stimulere jordlivet på samme måte. Fermentert materiale vil ha en forbigående effekt på jordlivet.
- Større mengde nitrogen i fermentert materiale vil sannsynligvis ha positiv effekt på avling, dersom det ikke skjer tap ved spredning og innblanding i jord.
- Effekten av ekstra tilført karbon er usikker. Bortsett fra kortvarig stimulering av jordorganismene er det sannsynlig at mye av karbonet er lettomsattelig og vil bli tilbakeført til atmosfæren som CO₂.
- Langtidseffekten av fermentert materiale på humusinnhold i jord er usikker. Mulig på samme nivå som ved bruk av kompost. Det kan også tenkes at de organiske syrene og lav pH som dannes ved fermentering, er med på å bryte ned tungt nedbrytelig karbonmateriale raskere enn i kompost. På den annen side vil de organiske syrene selv brytes ned og lav pH i materialet vil ikke ha større effekt ved tilførsel til jord pga. jordas bufringsevne.

I praksis er det mange faktorer som spiller inn, i forsøk vil en mest sannsynlig få tvetydige resultater.

Hva sier forskning?

For å sammenligne ulike metoder er det viktig å utføre sammenligningen på systemnivå og ikke bare på prosessnivå (Merfield 2012). Studier som utføres på prosessnivå har begrenset verdi dersom de skal danne grunnlag for utforming av veiledere og forskrifter for beste praksis for håndtering av organisk materiale. I verste fall kan slike forsøk gi villedende informasjon. I et forsøk utført av Bosch m.fl. (2016) ble tradisjonell rankekompostering sammenlignet med fermentering (Bokashi) av organisk materiale fra veikantslått med hensyn til næringstap og CO₂-fotavtrykk. De konkluderte med at Bokashi-metoden gir lavere tap av organisk materiale i prosessen og et langt lavere tap av nitrogen og CO₂ med et langt lavere CO₂-fotavtrykk enn med rankekompostering. Hva som skjedde etter at det fermenterte materialet ble tilført jord ble ikke undersøkt. Det er viktig å få mer kunnskap om den totale karbondynamikken ved fermenteringsprosessen der tilføring av det fermenterte materiale til jord inkluderes i beregningene.

I et pilotforsøk undersøkte Green (2009) utslipp av gass fra organisk materiale behandlet med Bokashi i fermenteringsprosessen, ferdig fermentert materiale blandet med jord og sammenlignet det med ufermentert materiale blandet med jord. Han konkluderte med at Bokashimetoden ikke slipper ut gass verken i prosesstiden eller etter at materialet er tilført jord. For ufermentert materiale blandet med jord ble det målbare mengder med gass allerede etter 6 timer. Mer utdypende studier trengs for å verifisere dette.

Den amerikanske forhandleren av EM, TeraGanix, hevder på sin hjemmeside at EM blant annet kan bidra til å forbedre jordstrukturen og porøsiteten, øke de gunstige, lokale mikrobielle populasjonene og at de maksimerer omdanningen av organisk materiale til jordhumus (soil humus) TeraGanix (2018). Disse påstandene behøver verifisering.

Mayer m.fl. (2010) gjennomførte et 4-årig forsøk i Sveits, med økologisk drift, der de undersøkte effekten av EM på avling og mikrobielle parametere (mikrobiell biomasse, mikrobiell aktivitet,

omsetning av substrat, mikrobiell samfunnsstruktur) i jord. I tillegg gjennomførte de et inkubasjonsforsøk der de blant annet undersøkte nedbrytning av cellulose. Det ble brukt to ulike EM-preparater (EMA og Bokashi), alene eller i ulike kombinasjoner, bl.a. i kombinasjon med husdyrgjødsel. Som kontroll ble det brukt steriliserte EM-produkter.

Tilførsel av EMA viste ingen signifikante forskjeller på behandlede/ubehandlede ledd på noen av parameterne. Noen signifikante forskjeller ble funnet for ulike parametere, bl.a. avling og mikrobielle parametere ved tilførsel av Bokashi i tillegg til EMA. Forfatterne mener at de små forskjellene skyldes ekstra tilførsel av næringsstoffer med Bokashi og ikke mikroorganismene i EM-produktene.

Hovedkonklusjonen deres er at EM ikke hadde effekt på avling eller de mikrobielle parameterne de undersøkte under de gitte forholdene i Mellom-Europa.

I prosjektet «Fermentering av husdyrgjødsel med EM» er en av målsetningene å undersøke effekten av å tilsette EM til husdyrgjødsel under norske forhold. Undersøkelsen blir gjort på gårder i praktisk drift og under kontrollerte former i forsøktanker. Det blir undersøkt endringer i konsistens, kjemisk sammensetning, fysiske forhold og gjæring ved lagring av gjødsel med og uten tilsetning av EM. Det blir gjort registreringer basert på subjektive observasjoner utført av gårdbrukerne i prosjektet og utført forsøk i felt der avlingsrespons og infiltrasjon av vann i eng etter gjødsling blir registrert.

Midtveisrapporten fra prosjektet påpeker at det er for tidlig for å trekke noen sikre konklusjoner om det er noen signifikante forskjeller mellom behandlinger med og uten tilførsel av EM. Det er en del usikkerhet i tallmaterialet fordi registreringer på gårdsnivå og ved sammenligning mellom gårder i seg selv danner grunnlag for feilkilder. Det er behov for mer utprøving for å konkludere om det kan påvises spesielle trender med/uten tilsetning av EM. Gårdbrukerne har f.eks. registrert at gjødselen gjærer mer og er mer tyntflytende ved tilsetning av EM. Mer gjæring ble også registrert i det kontrollerte forsøket der det var tilsatt EM men uten at det kunne registreres forskjeller i kjemisk innhold. Det var forventet at det ville være forskjeller i karboninnhold i tørrstoffet. Det er foreslått å følge opp disse erfaringene i videre utprøvinger og analyser (Bokashi Norge 2018). Prosjektet avsluttes i 2019.

Boechat m.fl. (2013) testet ulike komposter med og uten tilsatt fermentert Bokashikompost på mineralisering av nitrogen og endring i kjemisk innhold i jord. Forsøket ble utført som et inkubasjonsforsøk. Det er uklart fra artikkelen hvilken type utgangsmateriale Bokashikomposten besto av («enriched with effective microorganisms called Fermented Bokashi Compost»). De fant at innholdet av organisk materiale i jord etter 91 dager var lavere i behandlingene som var tilsatt «Fermented Bokashi Compost (FBC)» enn i tilsvarende behandlinger uten FBC. De viser til andre forsøk der effektive mikroorganismer har ført til økt omsetning av organisk materiale. Det er uvisst om det er egenskapene til det fermenterte materialet eller tilførsel av visse typer mikroorganismer som har virket inn.

Innholdet av eventuelt uønskede, skadelige stoffer i organisk materiale er et moment som bør ha høy prioritet i vurdering av og forskning på bruk av organisk materiale tilført dyrkingsjord. Spørsmålet om hvilke håndteringsmetoder som eventuelt har størst innvirkning på karbonbinding i jord bør ikke vurderes separat uten samtidig å vurdere et spekter av parametre, inkludert skadelige stoffer.

Epelde m.fl. (2018) undersøkte kvalitet av ulike komposter med tanke på innhold av ulike uønskede kjemiske og biologiske substanser som tungmetaller, pestisidrester, *Escherichia coli* og *Salmonella* i tillegg til andre kvalitetskriterier som TS-innhold, C/N-forhold og innhold av mikroorganismer.

Kompostene som ble undersøkt var vermikompost, Bokashi, kompostert kommunalt avfall (husholdnings- og grøntavfall), pelletert compost (vegetabilsk og animalsk opprinnelse), kompostert gjødsel fra intensivt storfehold, kompostert gjødsel fra økologisk storfehold og kompostert sauegjødsel fra økologisk drift. Bokashi-kompost var den eneste komposten som inneholdt *Salmonella* og et høyt innhold av forbindelser som assosieres med fare for overføring av antibiotikaresistens. Forfatterne har ingen forklaring på hvorfor dette materialet inneholder disse substansene. Undersøkelsen viser imidlertid at det er behov for mer forskning om håndteringsmetoder for å sikre trygg tilbakeføring til jordbruksjord, uavhengig av skjebnen til karbonet i materialet.

Gómez-Sagasti m.fl. (2018) utførte et litteraturstudium basert på originallitteratur publisert i perioden 2013-16, med søkeordene organisk materiale («organic amendment»), jord, plante og helse for å sammenstille og diskutere positive og eventuelle skadelige effekter ved tilførsel av organisk materiale til jord. De var spesielt opptatt av jord-rot-mikrobe-planterelasjoner. Av de 71 artiklene som ble valgt ut, var det bare en tredel som hadde samlet data om både planter og jordorganismer. Ingen av artiklene hadde informasjon om potensielle forandringer på mikrobiell aktivitet med hensyn til biomasse, aktivitet og diversitet av den opprinnelige mikrobepopulasjonen.

Basert på (i) kunnskap om de positive effektene som organisk materiale har på jord og som det er allmenn enighet om (i denne studien er det spesielt fokus på jord med nedsatt kvalitet fra urbane områder), (ii) nye strategier for «null-avfall» og resirkulering som i økende grad er på den politiske agendaen i Europa og ellers i verden og (iii) antagelse om at økende mengder organisk materiale fra samfunnet vil bli resirkulert til dyrkingsjord, fremhever forfatterne at det er et prekært og stort behov for mer forskning om uønskede stoffer som kan finnes i det organiske materialet, for eksempel mikro-/nanoplast og antibiotikaresistente bakterier, og hvilke virkninger det kan ha på jordhelse og videre for helsen til planter, dyr og mennesker.



FFoto: Kirsty McKinnon

7 Biokull

Bruk av biokull i jordbruksjord er et tiltak som studeres i flere land, både som jordforbedringsmiddel og som tiltak mot klimaendringer. Biokull lages ved at organisk materiale som treflis (1-5 cm), halm eller fast husdyrgjødsel (strø + hestegjødsel) varmes opp til 400-700 °C ved liten tilgang på oksygen ved såkalt langsom pyrolyse.

Mengden karbon som kan lagres i jord varierer med jordtype, nedbørsmengde, temperatur og bruken av arealene (Hohle m.fl. 2016). De mest aktuelle råstoffene til produksjon av biokull i Norge er skogsavfall, halm og kornavrens (Grønlund m.fl. 2010). Dette er råstoff som også kan brukes på andre måter, f.eks. til framstilling av bioenergi. Brukt som biokull kan disse råstoffene gi en karbonlagringseffekt i tillegg til jordforbedringseffekter, som sterkere binding av plantenæringsstoffer, økt vannlagringsevne, bedre jordstruktur og redusert jorderosjon. Effekt av dette i form av høyere avling er imidlertid hittil ikke påvist i norske forsøk. Aktuell tilførselsmengde for norske forhold er rundt 500 kg/daa (A. O'Toole, pers. med. 31.3.2017).

Forsøk tyder på at biokull kan produseres ved temperaturer ned til 400 grader og likevel ha egenskapene som gjør det til et godt og stabilt produkt og som dermed kan bidra til karbonlagring i jord i flere hundre år. Ved å senke temperaturen reduseres energibruken og kostnadene ved prosessen (Gulden 2017).

7.1 Terra preta de indio

Begrepet *terra preta de indio* betegner menneskeskapt, næringsrik svartjord i Amazonas. Ved at jorda ble tilført trekull, beinrester fra dyr og fisk, dyregjødsel og annet organisk materiale ble det dannet et stabilt og næringsrikt jordsmonn, mindre utsatt for utvasking enn omkringliggende jord. Denne jorda ble dannet av mennesker i tusenvis av år. Etter europeernes inntog i Sør-Amerika gikk kunnskapen om denne metoden i glemmeboken.

Terra preta-jord inneholder rundt 9 % karbon, mens jorda ellers i disse regnskogsområdene bare inneholder 0,5-4 % karbon (Lehmann m. fl. 2003, Lehmann 2006). Typisk *terra preta*-jordsmonn har et 40 cm tykt toppjordlag med organisk materiale, kullrester og terrakottapotteskår (Glaser & Birk 2012). Vanlig karbondynamikk skulle ikke tilsi at innholdet av karbon i denne jorda er så høyt i dette klimaet. Et klima med 40 °C i skyggen, luftfuktighet på nær 100 % og tilgang på oksygen betyr stor mikrobiell aktivitet i jorda. Mesteparten av karbonet i jorda burde da vært i bruk.

I Vest-Afrika er tilsvarende teknikker i bruk den dag i dag. Jordsmonnet i dette området er generelt næringsfattig og har lav pH, noe som gir svært lave avlinger og dårlig matsikkerhet for dem som bor der. Et internasjonalt prosjekt, der universitetet i Sussex har hatt ledelsen, har undersøkt flere områder i Liberia og Ghana med rød sandjord, hvor årlig nedbør varierer mellom 1 000 og 3 000 mm. Denne jorda ble sammenlignet med mørkt jordsmonn som finnes i området, dannet etter årevis med tilførsel av aske og trekull, husholdningsavfall med beinrester og rester etter dyrking av oljepalmer og ris og rester etter videreforedling av palmeoljen.

Jordprøver viser at den sistnevnte jorda har høyt innhold av karbon, har gunstig pH og kationekapasitet og inneholder mer av viktige næringsstoffer enn jorda rundt. Det har blitt påvist to-tre ganger så høyt karboninnhold som i den opprinnelige jorda, ned til mer enn 2 meters dybde. Særlig var det mye av tungt nedbrytbart organisk materiale i form av trekull, noe som viser at jorda kan fungere som karbonlager på lang sikt. Avlingene i områdene med denne næringsrike jorda er langt høyere enn fra arealene rundt og vekster som ikke gror ellers, som bananer og kakao, trives her (Solomon m.fl. 2016).

7.2 Biokull lages ved pyrolyse

Pyrolyse er en prosess som bevarer og stabiliserer planterestenes egen struktur, og omgjør de opprinnelige lignin- og cellulosemolekylene til stabile, aromatiske molekyler med en sekskantstruktur som ligner celleveggene i en tavle i en bikube. Disse sekskantstrukturene på molekylnivå er motstandsdyktige mot nedbryting, og etter pyrolyse utgjør de celleveggene i halmen eller treflisen. Biokullet ser da ut som forkullede, inntørkede planteskjeletter som i struktur ligner på det det er laget av.

Pyrolyse er ikke forbrenning, selv om det gjøres i ovner og ved høy temperatur. Lite oksygen forhindrer at materialet brenner opp, og ca. halvparten av karbonet er igjen etter en vellykket pyrolyse, samt at karbonet utgjør en større andel av molekylene etter pyrolysen. Mens cellulose ($C_6H_{10}O_5$)_n inneholder 40 % C, 6 % H og 54 % O, inneholder biokull mye større andel karbon og tilsvarende mindre hydrogen og oksygen. I norske forsøk inneholdt biokull av hvetealm ca. 70 % C, hvor 92 % av karbonet var i ringformede aromatiske karbonforbindelser (O'Toole m.fl. 2013).

Ved pyrolyse dannes olje og ulike gasser, i tillegg til biokullet. Biokullet kan inneholde opptil 50 % av opprinnelig karbon, mens oljen, som kan brukes til biodrivstoff eller brensel, inneholder ca. 30 % av opprinnelig karbon (Lehmann 2007). Tjue prosent av karbonet omdannes til såkalte syngasser, en blanding av CO₂, CO og CH₄ (Klima- og forurensningsdirektoratet 2010).

Produksjonen av energi er lavere enn ved direkte forbrenning fordi en del av energien fortsatt finnes i kullet. Pyrolysen krever energi, men bare rundt 20 % av karbonet må forbrennes for å drive prosessen. Når prosessen først er i gang gir den overskuddsvarme som tilsvarer minst 30 % av brennverdien i materialet som pyrolyseres. Dette betyr at systemer med kontinuerlig strøm av råstoff og effektiv gjenbruk av energi vil være mest energieffektive.

I små anlegg vil både gass og olje som lages i pyrolysen forbrennes underveis. En bekymring ved produksjon av biokull er at det dannes giftige forbindelser under pyrolysen, såkalte polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH). Dette skjer også ved skogbrann. Testing av mange ulike råstoff til biokull viste at PAH også dannes ved langsom pyrolyse, men at mengden var veldig lav, fra 0,07 µg/g – 3,27 µg PAH/g biokull, og kun en liten del av dette ble antatt å være biotilgjengelig (Hale m.fl. 2012).

Råstoffenes renhet avgjør hvor mye tungmetaller det er i sluttproduktet. Typisk vil konsentrasjonen være dobbelt så høy i kullet som i råmaterialet dersom 50 % av karbonet blir til biokull. Dette er

grunnen til at f.eks. avløpsslam ikke brukes til biokull, da det ofte inneholder mye kopper og sink, og noe kadmium.

Ved å bruke såkalt langsom pyrolyse og unngå temperaturer over 700 °C produseres færrest uønskete og farlige stoffer. Uansett hvordan biokull produseres trengs det kvalitetskrav og kontrollrutiner for biokull som skal brukes i landbruksjord. Les mer om biokull i norsk sammenheng i Pommeresche m.fl. (2018).

7.3 Jordforbedring og lagring av karbon

Biokull har blitt testet som fysisk jordforbedringsmiddel. Biokullet har med sin porøse struktur mange egenskaper som kan være bra for en moldfattig jord: Det kan holde på vann, det har stor overflate som kan holde på næringsstoffer, og det har et utall av hulrom hvor jordmikroorganismer kan leve. Biokull er basisk (pH 9-10) fordi det inneholder noe aske, men kalkingseffekten er likevel beskjeden. Asken og selve biokullet inneholder noen plantenæringsstoffer, men hvilke næringsstoffer og hvor mye avhenger av utgangsmaterialet og pyrolysebetingelsene. Generelt finner man mye Ca og noe Mg, men lite plantetilgjengelig P og N.

Godt produsert biokull kan også brukes til å redusere giftigheten av forurensninger i jord, såkalt bioremediering. Dette skyldes at biokull har en sterk evne til å binde tungmetaller og organiske miljøgifter (inkludert PAH), slik at disse ikke blir tilgjengelig for plantopptak. I Kina brukes mye biokull til akkurat dette formålet. Forskere fra NIBIO, sammen med polske kolleger, fant langt mindre opptak av kobber i bygg der det var tilført biokull, når det ble dyrket i en sterkt koppperforurenset jord fra Polen hvor planter ellers nesten ikke kunne vokse i det hele tatt (Pommeresche m.fl. 2018).

Karbonet i biokullet omdannes svært sakte i jord, og det er viktig å dokumentere stabiliteten. Det er gjort forsøk for å dokumentere stabiliteten av karbonet i biokull under norske forhold. I et feltforsøk over to år på Ås ble biokull framstilt av karbonholdig elefantgras (*Miscanthus*) tilført jorda i to ulike mengder, 800 og 2 500 kg /daa. Biokullet ble pløyd ned høsten 2010, sådd med havre, høstpløyd i 2011 og sådd med bygg våren 2012. Det ble gjødslet med 55 kg NPK 22-3-10 per dekar. Ved bruk av en nøyaktig sporingsmetode basert på karbonisotopen C-13 (som elefantgras har et naturlig høyt innhold av) ble mindre enn 1 % av karbonet i biokullet omdannet til CO₂ i løpet av ett år. Dette bekrefter at karbonet er stabilt også i norsk jord (Rasse m.fl. 2017). Hva som skjer med organisk materiale i jord avhenger blant annet av klima, plantevekst og jordliv (Schmidt m.fl. 2011, Pommeresche & Riley 2018).

7.4 Biokull, et mulig alternativ for karbonfattig jord og karbonlagring

Til tross for sine positive jordegenskaper har tilførsel av biokull i feltforsøk i Norge ikke ført til økte kornavlinger (O'Toole m.fl. 2013). En av årsakene er at biokull bare inneholder små mengder med tilgjengelige næringsstoffer. Biokull har imidlertid høy spesifikk overflate og kan holde på

plantenæringsstoffer som tilføres slik at de ikke tapes ved utvasking. Det er vist at effektiviteten av mineralsk og organisk gjødsel øker når disse er bundet til biokull (fertichar), ved at flere næringsstoffer blir tatt opp av planter og mindre tapes ved utvasking (Qian m.fl. 2014). En annen årsak kan være at norsk jord ofte har et høyt innhold av organisk materiale, og i leirholdig jord har mange leirmineraler en naturlig høy spesifikk overflate. Woolf m.fl. (2010) framholder at tilførsel av biokull er mest effektivt i skrin jord med lite organisk materiale.

Mindre klimagassutslipp

På globalt nivå kan bruk av biokull teoretisk gi mulighet til lagring av store mengder karbon i jord. Woolf m.fl. (2010) har beregnet at maksimum mengde som kan tilføres årlig, uten å true matsikkerhet, leveområder og jordsmonn, kan medføre redusert netto utslipp av CO₂, metan og lystgass tilsvarende 1,8 Gt CO₂-ekvivalenter per år. Forskerne framholder at tilførsel av biokull er mest effektivt i skrin jord med lite organisk materiale.

I tillegg til å lagre karbon, tyder flere undersøkelser på at biokull også kan bidra til å redusere utslippene av lystgass fra jord. En metaanalyse av litteratur publisert mellom 2007 - 2013 har blitt gjennomført for å undersøke dette. I alt 30 studier ble analysert. Forskerne fant at biokull i snitt reduserte lystgassutslippene fra jord med 54 %, både i laboratorieforsøk og feltforsøk. Faktorer som hadde betydning var biokull-råstoffet, pyrolyseprosessen og C/N-forholdet i biokullet. Biokull hadde størst effekt når nitrogen ble tilført som NO₃⁻ (Cayuela m.fl. 2014). Imidlertid kan det være store forskjeller mellom ulike jordtyper og hvordan lystgass dannes i jorda. I forsøk med identiske forhold, hvor biokull ble tilført jord, økte utslippene av lystgass med 54 % fra en jordtype, mens de ble redusert med 76 % fra en annen jordtype, sammenlignet med kontrolljorda (Sánchez-García m.fl. 2014).

Ved en tilførsel av 900 kg biokull per daa jordbruksjord i Finland, ble det målt økt opptak av metan i jorda, sammenlignet med jord uten tilført biokull. Forskerne forklarer dette med mer luft i jorda ved tilførsel av biokull. Det var imidlertid ingen statistisk forskjell på utslipp av CO₂ og N₂O fra jorda med og uten tilført biokull. Resultatene tyder på at de største fordelene ved bruk av biokull først og fremst kommer fra jordfysiologiske og hydrologiske egenskaper, heller enn effekter på nitrogensyklusen (Karhu m.fl. 2011).

Tap av nitrogen i form av lystgass til luft og nitrat og ammonium til vann kan være spesielt stort i perioder med frysing/tining i løpet av vinterhalvåret i vår del av verden. Finske forskere undersøkte hvilken effekt tilførsel av biokull til jord hadde på disse prosessene. Ved tilførsel av 1 t biokull/daa fra granflis ble tapene i vann fra slik jord redusert i forhold til jord uten biokull med hhv 58 og 22 % for nitrat og ammonium. Ved tilførsel av biokull til jord var også reduksjonen i utslipp av lystgass signifikant i forhold til fra kontrolljord uten biokull (Kettunen & Saarnio 2013).

Bruk av biokull vil kunne gi reduserte utslipp av CO₂. I sektorrapporten for jordbruk i Klimakur 2020 angis bruk av biokull som et av tiltakene for reduksjon av klimagassutslipp fra jordbruket. Sammenlignet med de andre tiltakene som er nevnt i sektorrapporten er produksjon av biokull det tiltaket som gir størst utslippsreduksjon (Klima- og forurensningsdirektoratet 2010).

8 Oppsummering, anbefalinger og forslag

Emnet organisk materiale i jord og lagring av karbon i jord er svært omfattende. I denne rapporten er ikke alle viktige problemstillinger tatt med på grunn av mangel på ressurser i prosjektet. Det gjelder f.eks. effekt av beiting og dyrking på myrjord. I liten grad er heller ikke beskrivelse av nye dyrkingsmetoder, som regenerativt landbruk, flatekompostering og «Conservation agriculture» med i rapporten. Disse er kort beskrevet i Valand m.fl. (2017).

8.1 Lagring av jordkarbon som klimatiltak i landbruket

Binding og lagring av karbon i jord er foreslått som en måte å redusere innholdet av karbondioksid i lufta og slik redusere skadelig klimapåvirkning. Utfordringen for bønder og klimaforskere er at de aller fleste typer organisk materiale som tilføres jord omdannes i løpet av noen få år, og dermed inngår i karbonkretsløpet som CO₂ på nytt. Klimaendringer i form av høyere temperatur vil gjøre det vanskeligere å lagre mer karbon i jorda, på grunn av økt omdanning og nedbrytning av organisk materiale.

Det er viktig at politiske virkemidler bygger på faglig kunnskap. Da gjelder det å kunne sette sammen kunnskap fra ulike fagområder. Dette gjelder ikke minst for karbonlagring i jord, hvor aktuelle tiltak også må vurderes ut fra mulighet for utslipp av andre klimagasser og utslipp i andre deler av produksjonen. Gevinsten av økt karbonbinding kan i noen tilfeller bli oppveid ved økt utslipp av lystgass, som har en langt sterkere global oppvarmingseffekt enn den «kjølede» effekten av å fjerne CO₂. Det er derfor viktig at en i forskning med karbon i jord også ser på nitrogenomsetningen og tap av nitrat og lystgass (Eltun m.fl. 2010).

Kostnader ved innføring av tiltak for økt karbonlagring må derfor vurderes med tanke på gevinsten i form av mengde lagret karbon, sammenlignet med andre tiltak som kanskje har større potensial for å redusere klimagassutslippene fra landbruket. Det langvarige omløpsforsøket på Ås har vist at dyrking av korn uten eng i vekstskiftet reduserer innholdet av karbon i jord. I klimasammenheng er størrelsen på denne reduksjonen sammenlignbar med CO₂-utslipp fra energibruk i landbrukssektoren. Den er imidlertid liten sammenlignet med effekten av andre klimagassutslipp fra landbruket (Bleken 2016).

I 2016 ble det utarbeidet en rapport på oppdrag fra Landbruks- og matdepartementet (Hohle 2016). En del av denne rapporten omhandlet karbonbalanse i dyrket mark, hvor muligheter for en 4 % årlig økning i karboninnholdet i norsk jord er vurdert. Den totale karbonmengden i dyrket jord (ned til 20 cm) i Norge er estimert til ca. 80 millioner tonn. Det fins ikke tall for naturlig likevektsnivå for karboninnhold i norsk jord, men en antar at mineraljord med langvarig eng er omtrent i likevekt. Forskerne konkluderer med at en gjennomsnittlig årlig økning på 4 % av karboninnholdet på dyrket jord i Norge ikke er realistisk før det er mulig å tilføre biokull i større skala. Notatet fremhever imidlertid at det også finnes muligheter for en bedring i karboninnhold både for eng og åker i Norge, utover bruk av biokull. Det mangler imidlertid kunnskap om slike muligheter.

Forhold som er lite dokumentert er;

- Biokull, teknologi for fremstilling, virkning i jord og for plantevekst
- Effekter av arealbruk og arealbruksendringer (ikke dokumentert i Norge hittil), karbonlager i ulike jorddybder, særlig under pløyedybde, tidsdynamikk for karbonendringer ved endret arealbruk
- Transport og lagring av karbon i dypere jordlag, effekt av vekster med dypere rotsystem, betydning av nedvasking, betydning av jordfauna og mikrobiell aktivitet
- Fornyingsmetoder for eng for å redusere perioder uten plantevekst og ompløyd eng.
- Effekter av nye metoder for jordarbeiding
- Dyrkings og dreneringsmetoder som kan redusere karbontap fra myr og metoder for etterbruk av myr som kan øke opptaket (Bárcena m.fl. 2016).

På oppdrag for Miljødirektoratet har NLR Østafjells skrevet rapport om karbonbinding i landbruksjord og hvordan nåværende landbrukspraksis kan tilpasses for å øke denne karbonbindingen. Forfatterne prioriterer innføring av kontinuerlig grønt plantedekke som det viktigste enkelttiltaket under norske forhold. Samtidig påpeker de at størst potensiale for karbonbinding har det å støtte opp om samarbeidet mellom planter og jordliv, hvor flere tiltak sammen er nødvendig. Foruten plantedekke inngår derfor også vekstskifte, tilførsel av organisk materiale og redusert jordarbeiding som viktige tiltak (Valand m.fl. 2017).

Til jordbruksforhandlingene i 2019 skal muligheter og utfordringer for økt karbonbinding i jord utredes. Utredningen skal også belyse dette som klimatiltak og gi anbefalinger om tiltak under norske forhold (Bardalen m.fl. 2018).

8.2 Geografiske forskjeller

Mye av planetens landbruksjord inneholder langt mindre organisk materiale, og dermed mindre karbon, enn norsk landbruksjord. Innholdet kan være lavere enn 0,1 % karbon i matjordlaget. Et lavere innhold av karbon i jordbruksjord enn 1,5-2 % i rotsonen gjør jorda lite produktiv, gir dårligere struktur og dårligere vannhusholdning (Lal m.fl. 2015). Økt aggregatstabilitet og økt moldinnhold er også sterkt knytta til høyere innhold, opp til 6 % organisk materiale (Riley pers. med.).

En del jord i Norge, hvor det i hovedsak er dyrket ensidig korn eller grønnsaker over lang tid, inneholder rundt 4 % organisk materiale, dvs. ca. 2 % karbon. Ikke minst har en del bakkeplanert leirjord lavt innhold av organisk materiale. Det er kanskje ved slike forhold produsentene merker at mangel på karbonholdige stoffer i jorda gir negative effekter som lavere avlinger, jordpakking, dårlig vannlagringskapasitet o.l. Det er også i jord med såpass lavt innhold av organisk materiale at tiltak med fangvekster, underkultur, kompost og husdyrgjødsel vil kunne bidra til mer karbon i jorda og ikke minst økt produktivitet og bedret jordstruktur.

I landsdeler med mye husdyrgjødsel og jord med generelt høyere innhold av karbon (> 4 % organisk materiale), vil noe sjeldnere pløying, mindre pløyedybde og fokus på å beholde mest mulig karbon i jorda være viktigst. I en del norsk jord er det også så høyt innhold av organisk materiale at det gir utfordringer mht. lavere produktivitet og tett jord pga. liten andel næringsrik humus og evne til å lagre store mengder vann. Dette gjelder særlig en del myrjord langs kysten. Det er derfor viktig å være klar over at ikke all dyrkajord i Norge blir mer produktiv av en økning i innholdet av karbon.

8.3 Tiltak i landbruket som bidrar til å øke humusinnholdet og binde karbon i jord

Flere tiltak i landbruket er det relativt stor enighet om at bidrar til å vedlikeholde eller svakt øke innholdet av organisk materiale i jord i form av målbart mer karbon, oftest målt som glødetap. Dette gjelder både kjente og nyere agronomiske tiltak, samt ulike plantekulturer. Imidlertid kan noen av tiltakene komme i konflikt med det å produsere fôr og mat i kaldt og vått klima, med kort vekstsesong.

1. Eng i vekstskiftet -fremfor bare ettårige kulturer
2. Grønt plantedekke hele året
3. Underkultur og fangvekster, bla. med belgvekster
4. Husdyrgjødsel og annen organisk gjødsel
5. Mangfold av plantearter
6. Minimal jordarbeiding
7. Biokull av lokale råvarer
8. Tilbakefør halm til jorda
9. Jordarbeiding ved lagelige forhold

Dette er tiltak som er aktuelle både i konvensjonell og økologisk drift. I debatten om karbonlagring i jord er disse enkelttiltakene igjen aktuelle, både i teori og praksis. Det er imidlertid for lite undersøkt hvilke kombinasjoner av ulike tiltak som er nødvendig for å stimulere til stabil humusbygging. Flere av de nylig introduserte driftsmetodene, som «Regenerativt landbruk», «Carbon farming», «No till-farming», «Die Grüne Brücke» osv. har fokus på dette. Mange av disse driftsmetodene er utviklet for andre klimatiske forhold og et annet utgangspunkt for jorda enn det vi har i Norge. Per i dag fins det lite dokumentasjon på hvilken effekt slike metoder har på karbonlagring i jord og avlingsnivå over tid. Noen av metodene er tatt i bruk de seineste årene, men det er foreløpig lite erfaring med tilpasning av metodene til norske forhold.



8.4 Økologisk landbruk

En viktig del av grunnlaget for økologisk landbruk er en fruktbar jord. Drifta legges opp mest mulig med tanke på å legge til rette for dette, bla. gjennom vekstskifte, bruk av organisk gjødsel og belgvekster og bruk av underkultur og fangvekster. Dette er tiltak som kan føre til økt mengde organisk materiale i jorda og dermed også kan bidra til karbonlagring.

Forskere brukte data fra langvarige feltforsøk ved Askov i Danmark inn i en modell for å beregne effekten av omlegging fra konvensjonell til økologisk drift på karbonlagring. En slik omlegging under forhold tilsvarende Nord-Europa ble beregnet til å øke innholdet av organisk materiale fra 10 til 40 kg per dekar årlig i løpet av de første 50 årene. Etter 100 år vil jorda nå et stabilt innhold av karbon. Det var særlig bruk av dekkvekst og eng som hadde betydning for karbonlagringen (Foereid & Høgh-Jensen 2004).

Som litteraturgjennomgangen viser kan økologisk drift bidra til å øke mengden av organisk materiale i jorda da vekstskiftet ofte inneholder mer fangvekster, undersådde vekster, belgvekster, flerårige vekster og tilføres mer organisk materiale enn ved konvensjonell dyrking av åkervekster. Dette bidrar til økt mengde karbon i jorda.

8.5 Behov for forskning om behandlingsmåter av organisk gjødsel

Det trengs mer forskning før en kan si noe sikkert om og hvordan ulik behandling av organisk materiale har innvirkning på karbonbinding i jord – både på kort og lang sikt. Valg av håndteringsmåte kan imidlertid ikke bestemmes bare på grunnlag av evne til å lagre karbon. Andre momenter kan ha større betydning i miljøsammenheng, for eksempel når det gjelder fare for tap av næringsstoffer. Eksempelvis er kompost som er moden og stabil ansett som lavrisikomateriale i forhold til forurensning, mens det knytter seg mer usikkerhet til fermentert materiale pga. høyere innhold av vann og lett nedbrytbart materiale. Det fermenterte materialet bør sannsynligvis håndteres med forsiktighet på lik linje med bløtgjødsel for å unngå tap av næringsstoffer og utslipp av drivhusgasser. Det er viktig for en fremtidig «være eller ikke-være» for fermenteringsmetoder at det gjøres grundige undersøkelser med hensyn til utslipp av drivhusgasser, tap av næringsstoffer og evne til å sanere ugras. I tillegg bør også evnen de ulike håndteringsmåtene har til å sanere uønskete stoffer vurderes, som f.eks. patogener og medisinrester.

8.6 Forslag til framtidige arbeidsoppgaver for NORSØK i samarbeid med andre kompetansemiljø innen fagområdet

På bakgrunn av arbeidet med gjennomgang av litteratur og samtaler med fagpersoner i ulike kompetansemiljø foreslås følgende arbeidsoppgaver for NORSØK i tida framover:

- Fortsette arbeidet med jordfruktbarhet, jordliv osv., inkl. formidling av dette
- Etablere et årlig «jordforum» for utveksling av kunnskap mellom inviterte deltakere
- Etablere langvarige felt for målinger av karboninnhold i jord f.eks. på Tingvoll Gard, evt. målinger på økologiske bruk hvor registreringer er gjort tidligere
- Fortsatt formidle betydningen av god agronomi: vekstskifte med eng, tilførsel av organisk gjødsel, biodiversitet, fangvekster, jorddekke hele året osv.
- Søke samarbeid om etablering og gjennomføring av prosjekt med andre kompetansemiljø innen fagområdet
- Etablere database eller bidra til oppbygging av andre databaser, som f.eks. KORE
- Arbeide med helhetlig jordkultur («Holistic soil management») under norske forhold, uten å knytte det opp til spesielle metoder

8.7 Sluttord

Litteraturgjennomgangen viser at det ikke er enkelt å lagre karbon i dyrkajord over tid, hvor det samtidig produseres og fjernes avlinger som inneholder store mengder karbon. Levende planter og tilført organisk materiale tilfører jorda karbon. I tillegg trengs det tilstrekkelige mengder og riktig type organisk råstoff til humusbygging, som ikke bare inneholder karbon, men eksempelvis også betydelige mengder nitrogen. Et mangfold av sopp, bakterier og meitemark trengs for å bryte ned organisk materiale og til å vedlikeholde og danne nye humusmolekyler. Lagring av karbon bør sees på som en økosystemtjeneste som plante/jord/jordliv-økosystemet utfører, noe som er dynamisk og ikke stabilt. Er karbon i matjordlaget i dyrket jord et så ettertraktet og viktig råstoff at det uansett vil sirkulere mellom luft og jord og ikke så lett lar seg lagre, unntatt der jorda har et lavere innhold av karbon enn det jorda vanligvis kan lagre, for eksempel etter bakkeplanering og ensidig korndyrking? Kanskje det å *unngå tap av karbon* fra norsk landbruksjord er et stort nok mål i seg selv?

Det å forstå mer om humusbygging i jord, dens kjemi, fysikk og biologi er viktig for å kunne drive et landbruk som tar vare på innholdet av organisk materiale i jord. I en fruktbar jord er ikke målet mest mulig stabilt karbon, men en balanse mellom næringsrik humus og stabil humus med karbon som en naturlig del av dette.

9 Litteraturreferanser

Aguilera, E., L. Lassaletta, A. Gattinger & B.S. Gimeno 2013. Managing soil carbon for climate change mitigation and adaption in Mediterranean cropping systems: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 168, s. 25-36

Albrecht, W.A 1938. Variable levels of biological activity in Sanborn Field after fifty years of treatment. *Soli Sci. Soc. Am. Proc.* 3:77-82

Bai, Z. m. fl. 2018. Effects of agricultural management practices on soil quality: A review of long term experiments for Europe and China. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 265 (2018) 1-7

Barberi, P., S. Pellerin & T. Nesme 2017. Comparing crop rotations between organic and conventional farming. *Nature Scientific Reports* 7 (1). DOI: 10.1038/s41598-017-14271-6

Bárcena, T.G., A. Grønlund, A., O'Toole & D. Rasse 2016. Landbruket i møte med klimaendringene. Karbonbalansen i dyrket mark. I: Eid Hohle, E. (red.) 2016. Landbruk og klima – utredning fra partssammensatt gruppe.

Bardalen, A. m.fl. 2018. Utslippsreduksjoner i norsk jordbruk. Kunnskapsstatus og tiltaksmuligheter. NIBIO Rapport nr. 149, 2018. 84 s.

Bleken 2016. Contribution to C-sequestration by leys in arable rotation during a 60 years long-term trial in southeast Norway. I: Høglind, M. m.fl. (reds.) 2016. *Grassland Science in Europe*, Vol. 21 – The multiple roles of grassland in the European bioeconomy.

Boechat, C. L, J. A. G. Santo & A. M. de A. Accioly 2013. Net mineralization nitrogen and soil chemical changes with application of organic wastes with 'Fermented Bokashi Compost'. *Acta Scientiarum Agronomy*, Vol. 35 nr. 2

Bokashi Norge 2018. Fermentering av husdyrgjødsel. Midtveisrapport. https://bokashinorge.no/wp-content/uploads/2018/10/Midtveisrapport-2-okt2018_Fermentering-av-husdyrgjodsel.pdf. Nedlastet 26.11.2018

Bosch, M. A. Hitman & J.F. Hoekstra 2016. Fermentation (Bokashi) versus Composting of Organic Waste Materials: Consequences for Nutrient Losses and CO₂-footprint. Short paper, Feed Innovation Services. www.agriton.nl/wp-content/uploads/2016/08/Bosch_short_paper_for_UV2016-0827.pdf

Brady, N.C. & R.R. Weil 2008. *The nature and properties of soils*. Pearson Prentice Hall, USA.

Breland, T.A. 1992. Organisk materiale og biologisk prosessar i jorda. SFFL Faginfo nr. 19, 1992. Statens fagtjeneste for landbruket, Ås.

Brock, C., H.-R. Oberholzer, J. Schwartz, A. Fliessbach, K.-J. Hülsbergen, W. Koch, B. Pallutt, F. Reinicke & G. Leithold 2012. Soil organic matter balances in organic versus conventional farming – modelling in field experiments and upscaling for cropland in Germany. *Org. Agr.* 2, s. 185-195

Cayuela, M.L., L. van Zwieten, B.P. Singh, S. Jeffery, A. Roig & M.A. Sánchez-Monedero 2014. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 191 (2014): 5-16

Cederberg, C., B. Landquist & M. Berglund 2012. Potentialer för jordbruket som kolsänka. SIK-rapport nr 850, Göteborg.

Christensen, B.T. & A.E. Johnston 1997. Soil organic matter and soil quality – lessons learned from long-term experiments at Askov and Rothamsted. I: E.G. Gregorich & M.R. Carter (eds), *Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health*. Elsevier, Amsterdam, Nederland, s. 399–430.

Chenu, C., D.A. Angers, P. Barré, D. Derrien, D. Arrouays & J. Balesdent 2018. Increasing organic stocks in agricultural soils: Knowledge gaps and potential innovations. *Soil & Tillage Research* <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.04.011>

Conant, R.T.R. 2010. Challenges and opportunities for carbon sequestration in grassland systems, *Integrated Crop Management*. <https://doi.org/10.3329/jard.v7i1.4430>

Derrien, D., C. Marol & J. Balesdent 2004. The dynamics of natural sugars in the rhizosphere of wheat. *Plant and Soil* 267, 243-253.

Elbein, A. D., Y.T Pan, I. Pastuszak & D. Carroll 2003. New insights on trehalose: a multifunctional molecule. *Glycobiology* 13, 17-27.

Eltun, R. E. Romstad & L. Øygarden (red.) 2010. Kunnskapsstatus “Bedre agronomi”. *Bioforsk Rapport* 5 (66), 72 s.

Epelde, L., L. Jauregi, J. Urrea, L. Ibarretxe, J. Romo, I. Goikoetxea & C. Garbisu 2018. Characterization of Composted Organic Amendments for Agricultural Use. *Waste Management in Agroecosystems, Journal Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2:44

Fliessbach, A., H.-R. Oberholzer, L. Gunst & P. Mäder 2007. Soil organic matter and biological soil quality indicators after 21 years of organic and conventional farming. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 118 (2007): 273–284

Foer Reid, B. & H. Høgh-Jensen 2004. Carbon sequestration potential of organic agriculture in northern Europe – a modelling approach. *Nutrient cycling in Agroecosystems* 68, s.13-24

Gadermaier, F., A. Berner, A. Fliessbach, J.K. Friedel & P. Mäder 2011. Impact of reduced tillage on soil organic carbon and nutrient budgets under organic farming. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 27 (1): 68-80

Gattinger, A., A. Muller, M. Haeni, C. Skinner, A. Fliessbach, N. Buchmann, P. Mäder, M. Stolze, P. Smith, N. E. Scialabba & U. Niggli 2012. Enhanced top soil carbon stocks under organic farming. *PNAS*, Vol 109, no. 44, s. 18266-18271

Ghabbour, E., G. Davies, T. Misiewicz m.fl. 2017. Chapter One – national Comparison of the Total and Sequestered Organic Matter Contents of Conventional and Organic Farm Soils. *Advances in Agronomy*, Vol 146, s. 1-35

Glaser, B. & J.J. Birk 2012. State of the scientific knowledge on properties and genesis of Anthropogenic dark earths in central Amazonia (terra preta de Indio). *Geochimica et Cosmochimica Acta* 82, s. 39-51

Gobat, J.-M., M. Aragno & W. Matthey 2004. *The Living Soil. Fundamentals of Soil Science and Soil Biology*. Science Publisher, USA. 605 s.

Gómez-Sagasti, M.T., A. Hernández, U. Artetxe, C. Garbisu & J.M. Becerril 2018. How valuable are Organic Amendments as Tools for the Phytomanagement of Degraded Soils? The Knowns, Known Unknowns, and Unknowns. *Front. Sustain. Food Syst.* 2:68. doi: 10.3389/fsufs.2018.00068

Granstedt, A. & L. Kjellenberg 2017. Carbon sequestration in long term on farm studies in Organic and Biodynamic Agriculture, Sweden. In: Rahmann m.fl. 2017 Proceedings of the Scientific Track "Innovative Research for Organic Agriculture 3.0". Organic World Congress 2017 in New Dehli, India, Nov 9-11

Granstedt, A. & L. Kjellenberg 2008. Organic and biodynamic cultivation – a possible way of increasing humus capital, improving soil fertility and providing a significant carbon sink in Nordic conditions. I: Neuhooff, D., N. Halberg, T. Alföldi, W. Lockeretz, A. Thommen, I.A. Rasmussen, J. Hermansen, M. Vaarst, L. Lueck, F. Caporali, H. H. Jensen, P. Migliorini & H. Willer (eds.): *Cultivating the Future Based on Science. Vol 1 Organic Crop Production. Proceedings of Second Scientific Conference of ISOFAR, Modena, Italia.*

Green, L. 2009. A pilot study comparing gaseous emissions associated with organic waste treated with and without Bokashi fermentation, Study number: GHG_021509, Bokashicycle, <http://www.bokashicycle.com/Pilot%20GHG%20Bokashi%20Fermentation%20Study%20Results.pdf>

Gregorich, E.G., C.F. Drury & J.A. Baldock 2001. Changes in soil carbon under long-term maize in monoculture and legume-based rotation. *Can. J. Soil Sci.* 81, 21–31. <https://doi.org/10.4141/S00-041>

Grønlund, A. & O.M. Harstad 2014. Klimagasser fra jordbruket. Kunnskapsstatus om utslippskilder og tiltak for å redusere utslippene. *Bioforsk Rapport* (9) 11, 51 s.

Grønlund, A., de Zarruk, K.K. & D.P. Rasse 2010. Klimatiltak i jordbruket – binding av karbon i jordbruksjord. *Bioforsk Rapport* 5 (5), 34 s.

Grønlund, A., K.K. de Zarruk, D.P. Rasse, H. Riley, O. Klakegg & I. Nystuen 2008. Kunnskapsstatus for utslipp og binding av karbon i jordbruksjord. *Bioforsk Rapport* 3 (132), 47 s.

Gulden, K.T. 2017. Biokull kan bli enda grønnere. www.forskning.no 8.9.2017, <https://forskning.no/nibio-landbruk-partner/biokull-kan-bli-enda-gronnere/324165>

Haddaway, N.R. m.fl. 2017. Impact of reduced tillage of arable land on soil organic carbon. Summary of Systematic Review SR10. *EviEM*, Stockholm

Haichar, F. Z., C. Santaella, T. Heulin & W. Achouak 2014. Root exudates mediated interaction belowground. *Soil Biology & Biochemistry* 77, s. 69-80.

Hale, S.-E. m. fl. 2012. Quantifying the total and bioavailable polycyclic aromatic hydrocarbons and dioksin in biochars. *Environmental Science and Technology* 46, 2830-2838.

Hohle, E.E. (red.) 2016. Landbruk og klimaendringer. Rapport fra arbeidsgruppe, avgitt 19.2.2016. www.regjeringen.no/no/dokumenter/landbruk-og-klimaendringer/id2476376/

Holeplass, H., B.R. Singh & R. Lal 2004. Carbon sequestration in soil aggregates under different crop rotations and nitrogen fertilization in an inceptisol in southeastern Norway. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* (70) 2, s. 167-177

- Jensen, E.S., M.B. Peoples, R.M. Boddey, P.M. Gresshoff, H. Hauggaard-Nielsen, B.J.R. Alves & M.J. Morrison 2012. Legumes for mitigation of climate change and the provision of feedstock for biofuels and biorefineries. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 32, 329–364.
- Jones, D.L., C. Nguyen & R.D. Finlay 2009. Carbon flow in the rhizosphere: carbon trading at the soil-root interface. *Plant Soil*, 321:5-33.
- Karhu, K., T. Mattila, I. Bergström & K. Regina 2011. Biochar addition to agricultural soil increased CH₄ uptake and water holding capacity – results from a short-term pilot field study. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 140 (2011), s. 309-313
- Kell, D.B. 2012. Large-scale sequestration of atmospheric carbon via plantroots in natural and agricultural ecosystems: why and how. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 367, s. 1589-1597
- Kettunen, R. & S. Saarnio 2013. Biochar can restrict N₂O emissions and the risk of nitrogen leaching from an agricultural soil during the freeze-thaw period. *Agriculture and food science* 22 (2013), s. 373-379
- Khan, S.A., R.L. Mulvaney, T.R. Ellsworth & C.W. Boast 2007. The Myth of Nitrogen Fertilization for Soil Carbon Sequestration. *Journal of Env. Quality*, Vol 36, s. 1821-1832
- Kuzyakov, Y. & G. Domanski 2000. Carbon input by plants into the soil. Review. *J. Plant Nutr. Soil. Sci.* 163, 421-431.
- Klima- og forurensningsdirektoratet 2010. Tiltak og virkemidler for reduserte utslipp av klimagasser fra jordbrukssektoren. Klimakur 2020 - Sektorrapport jordbruk. TA-2593/2010
- Lal, R. 2010. Global Potential of Soil Carbon Sequestration to Mitigate the Greenhouse Effect. *Critical Reviews in Plant Sciences*, Vol 22 (2), s. 151-184
- Lal, R., W. Negassa & K. Lorenz 2015. Carbon sequestration in soil. *Current Opinion Environmental Sustainability*, 15, s. 79-86.
- Lehmann, J. 2007. A handful of carbon. *Nature* 445, s. 143-144
- Lehmann, J. & M. Kleber 2015. The contentious nature of soil organic matter. *Nature*, 528, s. 60-68.
- Leifeld, J. & J. Fuhrer 2010. Organic Farming and Soil Carbon Sequestration: What Do We Really Know About the Benefits? *AMBIO* 39, p. 385-599. DOI 10.1007/s13280-010-0082-8
- Lorenz, K. & R. Lal 2016. Environmental Impact of Organic Agriculture. *Advances in Agronomy* 139, s. 99-152
- Lori, M., S. Symnack, P. Mäder, G. de Deyn & A. Gattinger 2017. Organic farming enhances soil microbial abundance and activity—A meta-analysis and meta-regression. *PLoS ONE*, 12(7): e0180442.
- Lützow m. fl. 2006. Stabilization of organic matter in temperate soils: mechanisms and their relevance under different conditions- a review. *European Journal of Soil Science*, 57, s. 426-445.
- Løes, A.-K. & A.F. Øgaard 1997. Changes in the nutrient content of agricultural soil on conversion to organic farming in relation to farm-level nutrient balances and soil contents of clay and organic matter. *Acta Agric. Scand. Sec. B. Soil Plant Sci*, 47 (1997), s. 201-214

- Malik, A.A. m. fl. 2016. Soil fungal: bacterial ratios are linked to altered carbon cycling. *Frontiers in Microbiology*, 7, s. 1-11.
- Marriott, E.E. & M.M. Wander 2006. Total and labile Soil Organic Matter in Organic and Conventional Farming Systems. *Soil Sci. Soc. Of America Vol 70*, May-June 2006, s. 950-958
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2.ed., Academic Press
- Masoom m. fl. 2016. Soil organic matter in its native state: Unravelling the most complex biomaterial on earth. *Environ. Sci. & Technol*, 4, s. 1670-1680.
- Mayer, J., S. Scheid, F. Widmer, A. Fließbach & H.R. Oberholzer 2010. How effective are 'Effective microorganisms® (EM)'? Results from a field study in temperate climate. *Applied Soil Ecology* 46. S. 230-239
- McNally, S.R., D.C. Laughlin, S. Rutledge, M.B. Dodd, J. Six & L.A. Schipper 2015. Root carbon inputs under moderately diverse sward and conventional ryegrass-clover pasture: implications for soil carbon sequestration. *Plant Soil* 392, 289–299. <https://doi.org/10.1007/s11104-015-2463-z>
- Merfield, C.N. 2012. Treating food preparation 'waste' by Bokashi fermentation vs composting for land application: A feasibility and scoping review, Rapport 5, 2012, The BHU Future Farming Centre
- Miltner, A., P. Bombach, B. Schmidt-Brücken & M. Kästner 2012. SOM genesis: microbial biomass as a significant source. *Biogeochemistry* 111 (1-3), s. 41-55
- Mondelaers, K., J. Aertsens & G. Van Huylenbroeck 2009. A meta-analysis of the differences in environmental impacts between organic and conventional farming. *British Food Journal*, Vol 111(10), s. 1098-1119
- Möller, K. 2015. Effects of anaerobic digestion soil carbon and nitrogen turnover, N emissions, and soil biological activity. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 03/2015; DOI: 10.1007/s13593-015-0284-3
- Mulvaney, R.L., S.A. Khan & T.R. Ellsworth 2009. Synthetic Nitrogen Fertilizers Deplete Soil Nitrogen: A Global Dilemma for Sustainable Cereal Production. *Journal of Environ. Quality* Vol. 38, s. 2295-2314
- O'Toole, A. m. fl. 2013. Characterization, stability, and plant effects of kiln-produced wheat straw biochar. *J. Environ. Qual.* 42, s. 429-436.
- Ottow, J. 2011. *Mikrobiologie von Böden*. Springer Verlag
- Pepper, I.L., C.P. Gerba & T.J. Gentry 2015. *Environmental Microbiology*. Elsevier, 705 s.
- Poeplau, C. & A. Don 2015. Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops – A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 200 (2015), s. 33-41
- Pommeresche, R., D. Rasse & E. Jøner 2018. Biokull – status for forskning og utprøving i Norge. Fagartikkel Agropub. <https://www.agropub.no/fagartikler/biokull-status-for-forskning-og-utproving-i-norge>
- Pommeresche, R. & H. Riley 2018. Karbonlagring i jord er avhengig av både planter og jordliv. Forskning.no.
- Pommeresche, R. & Ø. Haugerud. 2017. Biologisk jordstruktur. *NORSØK Faginfo* 5, 1-7. <http://orgprints.org/32349/>

- Pommeresche, R. & A.-K. Løes 2009. Relations between agronomic practice and earthworms in Norwegian arable soils. *Dynamic Soil, Dynamic Plant* 3, s. 129-142.
- Pommeresche, R. & B. Swensen 2016a. Organisk materiale i jord – fra stoff til økosystem. NORSØK Faginfo nr. 1- 2016. <http://orgprints.org/30082/>
- Pommeresche, R. & B. Swensen 2016b. Matjordas økosystem. NORSØK Faginfo nr. 2-2016. <http://orgprints.org/30083/>
- Pommeresche, R. & H. Riley 2018. Karbonlagring i jord er avhengig av både planter og jordliv. *Forskning.no*, 25.3.2018. <https://forskning.no/jord-og-skog-landbruk-miljo-klima-planteverden/2018/03/karbonlagring-i-jord-ikke-lett-avhengig-av-bade-planter-jordliv>
- Powlson, D. S. m. fl. 2014. Limited potential of no-till agriculture for climate change mitigation. *Nature Climate Change*, Vol 4, s. 678-683
- Pretty, J. 2001. The real costs of modern farming. *Resurgence* 205, s. 6-9
- Pribyl, D.W. 2010. A critical review of the conventional SOC to SOM conversion factor. *Geoderma* 156, s. 75-83.
- Qian, L. m. fl. 2014. Biochar compound fertilizer as an option to reach high productivity but low carbon intensity in rice agriculture of China. *Carbon Management*, 5(2), s. 145-154.
- Rasse, D.P. m.fl. 2005. Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for specific stabilisation. *Plant and Soil*, 269: 341-356.
- Rasse, D. m.fl. 2017. Persistence in soil of *Mischanthus* biochar in laboratory and field conditions. *PLoS ONE* 12(9): e0184383. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0184383>
- Rasse, D.P., C. Rumpel & M.-F. Dignac 2005. Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for specific stabilisation. *Plant and Soil*, 269: 341-356.
- Raupp, J. 2001. Manure fertilization for soil organic matter maintenance and its effects upon crops and the environment, evaluated in a long-term trial. I: Rees, R.M., Ball, B.C., Campbell, C.D., Watson, C.A. (Eds.), *Sustainable Management of Soil Organic Matter*. CABI, London, s. 301–308.
- Riley, H. 2017. Trusler mot jordas fruktbarhet: Endringer i moldinnhold over tid. Foredrag fagseminar Ås 31.3.2017.
- Riley, H. 2016. Residual value of inorganic fertilizer and farmyard manure for crop yields and soil fertility after long-term use on a loam soil in Norway. *Nutr. Cycl. Agroecosystems* 104, s. 25-37
- Riley, H. 2015. Ettervirkning av mineral- og husdyrgjødsel i et langvarig gjødslingsforsøk på Møystad. I: Bioforsk-konferansen 2015. *Bioforsk FOKUS* 10 (2), s. 102
- Riley, H. & M. Bakkegard 2006. Declines of soil organic matter content under arable cropping in southeast Norway. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B - Soil and Plant Science*, 56: 217-223
- Riley, H., R. Pommeresche, R. Eltun, S. Hansen & A. Korsæth 2008. Soil structure, organic matter and earthworm activity in a comparison of cropping systems with contrasting tillage, rotations, fertilizer level and manure use. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 124, s. 275-284

Röös, E., C. Sundberg, E. Salomon & M. Wivstad 2013. Ekologisk production och klimatpåverkan – En sammanställning av kunskapsläge och framtida forskningsbehov. EPOK, SLU, Uppsala

Sánchez-García, M., A. Roig, M.A. Sánchez-Monedero & M.L. Cayuela 2014. Biochar increases N₂O emissions produced by nitrification-mediated pathways. *Frontiers in Environmental Science*. Vol 2, Art. 25, s. 1-10

Scharlemann, J.P.W., E.V.J. Tanner, R. Hiederer & V. Kapos 2014. Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool. *Carbon Management* 5(1), s. 81-91, DOI: 10.4155/cmt.13.77

Schjønning, P. & L.J. Munkholm 2004. Organisk stof i jord – hvor meget er nok og hvor lidt er kritisk? *FØJO e-nyt* nr. 2

Schmidt, M. W. m.fl. 2011. Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. *Nature* 478, s. 49 - 56.

Smith, P., D. Martino, Z. Cai, D. Gwary, H. Janzen, P. Kumar, B. McCarl, S. Ogle, F. O'Mara, C. Rice, B. Scholes & O. Sirotenko 2007. Chapter 8. Agriculture. In: Metz, B., O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave & L.A. Meyer (Eds.), *Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA

Smith, L., S. Padel & B. Pearce 2011. Soil Carbon Sequestration and Organic Farming: An overview of current evidence. *Organic Centre Wales*

Solomon, D., J. Lehmann, J.A. Fraser, M. Leach, K. Amanor, V. Frausin, S.M. Kristensen, D. Millimouno & J. Fairhead 2016. Indigenous African soil enrichment as a climate-smart sustainable agriculture Alternative. *Research Communications, Front Ecol Environ* 2016; 14(2): 71–76, doi:10.1002/fee.1226

Soussana, J.F., T. Tallec & V. Blanfort 2010. Mitigating the greenhouse gas balance of ruminant production systems through carbon sequestration in grasslands. *Animal* 4, 334–350.

Steinbeiss, S., H. Bessler, C. Engels, V.M. Temperton, N. Buchmann, C. Roscher, Y. Kreutziger, J. Baade, M. Habekost & G. Gleixner 2008. Plant diversity positively affects short-term soil carbon storage in experimental grasslands. *Glob. Chang. Biol.* 14, 2937–2949.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01697.x>

Stevenson, F.J. 1994. *Humus chemistry, Genesis, Composition, Reactions*. Second ed. John Wiley & Sons, Inc. New York, 496 s.

Stockmann, U. m.fl. 2013. The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 164, s. 80-99

Sukkel, W., van Geel, W. & J. de Haan 2008. Carbon sequestration in organic and conventional managed soils in the Netherlands. 16th IFOAM Organic World Congress, Modena, Italy, June 16-20, 2008. Orgprints.org/12300

Suzuki, Y., T. Matsubara & M. Hoshino 2003. Breakdown of mineral grains by earthworms and beetle larvae. *Geoderma* 112, 131-142.

Taghizadeh-Toosi, A. & J.E. Olesen 2016. Impacts of agricultural management on soil organic carbon changes in mineral soils. The 2nd ICOS Science Conference: on greenhouse gases and biogeochemical cycles - Helsinki, Finland

TeraGanix 2018. Effective Mikroorganismers® in Agriculture, <http://www.teraganix.com/Effective-Microorganisms-Agriculture-Solutions-s/83.htm>, nedlastet 26.11.2018

Thomsen, I.K., J.E. Olesen, H. B. Møller, P. Sørensen & B.T. Christensen 2013. Carbon dynamics and retention in soil after anaerobic digestion of dairy cattle feed and faeces. *Soil Biol & Biochem* 2013 (58), s. 82-87

Tørresen, K.S. m.fl. 2015. Effekter av ulik jordarbeiding i korn. NIBIO POP nr. 5, 2015

Uhlen, A.K. m.fl. 2017. Økt norsk kornproduksjon gjennom forbedret agronomisk praksis. En vurdering av agronomiske tiltak som kan bidra til avlingsøkninger i kornproduksjonen. NIBIO Rapport 3 (87), 47 s.

Uhlen, G. 1991. Long term effects of fertilizers, manure, straw and crop rotation on total-N and total-C in soil. *Acta Agric. Scand.* 41, s. 119-127.

Valand, S., A. Nøklund & H. Sundet 2017. Karbonbinding i norsk landbruksjord. NLR Østafjells <https://ostafjells.nlr.no/media/3234516/kunnskapsgrunnlag-karbonbinding-i-norsk-landbruksjord.pdf>

White, J.W. 1927. Soil organic matter and manurial treatments. *J. Am. Soc. Agron.* 19: 389-396

Woelf, D., J.E. Amonette, F.A. Street-Perrott 2010. Sustainable biochar to mitigate global climate change. *Nature Communications* 1(5):56

Wright, S.F. & A. Upadhyaya 1998. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant and Soil* 198, s. 97-107.

10 Vedlegg - prosjekter

Her er nevnt norske prosjekter som omhandler problemstillinger knytta til innholdet i rapporten. Prosjektene er i hovedsak norske, noen få danske er også med.

Jordkarbon – utvikling og formidling av karbonbindende landbrukspraksis i Norge

Prosjekteier: NLR Østafjells

Samarbeidsparter: Økologisk Norge, VitalAnalyse, Foregangsfylke Jord

Prosjektperiode: 2016- 2018

Finansiering: Klima- og miljømidler, Landbruksdirektoratet

Tildeling: Kr 1 768 781

Prosjektet er et pilotprosjekt hvor målet er å skaffe kunnskap om og erfaring med karbonbindende dyrkingsmetoder tilpasset norsk klima og ulike driftsformer.

Innhente mer kunnskap om de biologiske prosessene som binder karbon i jordsmonnet og gir stabil grynstruktur

- Utprøving og registreringer av ny praksis og oppfølging av storskalaforsøk og mindre forsøk hos bønder
- Formidling av forskning og erfaringer fra inn- og utland

Regenerativ fruktdyrking

Prosjekteier: Njøs Næringsutvikling

Prosjektperiode: 2018-2020

Finansiering: Utviklingsmidler økologisk landbruk, Landbruksdirektoratet

Utprøving av klimavennlige og økologiske driftsmåter i forsøksfelt for å styrke kunnskapsgrunnlaget om en mer klimavennlig økologisk fruktproduksjon med økt karbonbinding.

Njøs Næringsutvikling ønsker å bygge videre på resultater fra dekkeforsøk gjennomført på Njøs, og annen relevant forskning. På Njøs er det etablert en demonstrasjonshage for økologisk frukt som er godt egnet til utprøvingene, da den har moderat moldinnhold i ei leirrik jord.

Prosjektet vil resultere i forslag til konkrete tiltak for en mer klimavennlig fruktproduksjon og kunne ha overføringsverdi til ulike bærekulturer.

Kurs og kompetanseheving om jordfruktbarhet

Prosjekteier: VitaAnalyse

Samarbeidsparter: Martin Beck, Walter Witte, D. Näser & F. Wenz

Prosjektperiode: 2018

Finansiering: Klima- og miljømidler, Landbruksdirektoratet

Tildeling: Kr 152 350

Mål: Økt teoretisk forståelse og praktisk kompetanse innenfor metodikken «Fem trinn til fruktbar jord» hos norske bønder og gartnere (økologiske og konvensjonelle).

Arrangere to modulbaserte kurs i metodikken «Fem trinn til fruktbar jord». Hvert kurs er fordelt på 4 moduler over totalt 9 dager med teori og praksis knyttet til metodikken.

KarbonVekst: Redusert klimagassutslipp og bedre agronomi med bruk av biokull ved gjødsling og kompostering

Prosjekteier: NIBIO, prosjektleder Alice Budai

Prosjektperiode: 1.1.2018-31.3.2020

Tildeling: Kr 1 752 000

Biokull som bærekraftig klimatiltak for nullutslippssamfunnet (CAPTURE+)

Prosjekteier: SINTEF

Samarbeidsparter: NIBIO, NMBU, Ruralis, DNV GL AS

Prosjektperiode: 2014-2017

Det tverrfaglige prosjektet skal bidra til radikalt å forbedre pyrolyseprosessen som brukes for å fremstille biokull gjennom bruk av bioteknologi og nanoteknologi. Stor vekt legges på å integrere økonomiske, sosiale og politiske faktorer i teknologiutviklingen for å sikre akseptans og effektiv innføring av biokull i skog- og jordbruk.

Delmål:

Øke verdien av biokull/bio-olje gjennom prosessforbedringer basert på bioteknologi og nanoteknologi

Utvikle scenarier for hvordan biokull kan bli bærekraftig i Norge

Etablere en plattform som demonstrerer integrerte løsninger for biokullteknologi

Sikre kvaliteten på biokull med hensyn til karbonlagring og jordforbedring

Engasjere interessenter i implementeringsløpet for biokull

Øke bevisstheten av biokullets potensiale som en lavkostnadsteknologi for karbonlagringsimplementeringen av biokull i jordbruk og skogbruk

Engareal som lagringsmedium for karbon

Prosjekteier: NIBIO

Samarbeidsparter: NLR, NMBU, Norges Bondelag, SLU

Prosjektperiode: 2017-2021

Mål: Økt kunnskap om samspillet mellom alder av eng, driftsmåte, produksjonspotensiale og karbonbinding.

Delmål:

Kvantifisere karboninnhold i jord ned til 60-70 cm dybde i langvarig og kortvarig eng

Evaluerer karbondistribusjon og variasjon i jordprofil med spektroskopiske bilder i eng med ulike alder og drift og hva dette betyr for arealproduktivitet.

Kartlegge karboninnhold i Vest- og Nord-Norge hvor det er mye grovfôrproduksjon ved bruk av GIS.

Bruke datamaterialet fra langvarige engforsøk i modeller som avdekker framtidens klimautfordringer og optimaliseringsmuligheter i karbonbinding

Skaffe kunnskap om økonomisk verdi av karbonbinding i jord

Formidle resultater til gårdbrukere, rådgivere og forvaltning.

Finansiering: Klima- og miljømidler, Landbruksdirektoratet

Agronomisk optimalisering av karbonbinding og jordfruktbarhet – utvikling av regional demonstrasjonsgård og rådgjevings- og undervisningsmaterie

Prosjekteier: Sogn Jord- og Hagebruksskule

Prosjektperiode: 2018-2020

Samarbeidsparter: Jon Magne V. Holten VitalAnalyse, Hege Sundet NLR Østafjells, Martin Beck

Finansiering: Klima- og miljømidler, Landbruksdirektoratet

Tildeling: Kr 1 160 000

Mål: Systematisk utprøving av potensialet for metoder for karbonbinding. Utvikle nytt rådgivnings- og undervisningsmaterie for undervisning av egne elever og i aktuelle kurs for bønder, på agronomutdanning og fagskolenivå. Videreutvikle gardsdrifta på SJH til humusoppbyggende praksis, for å bruke det som læringsarena og demonstrasjonsgård.

Fem trinn til fruktbar jord – tilpassing til norsk klima og dyrkingssystem

Prosjekteier: VitalAnalyse

Samarbeidsparter: NLR Østafjells, 3 utprøvingsgårder (bla. Kongsgården på Bygdøy)

Prosjektperiode: 2018-2020

Finansiering: Klima- og miljømidler, Landbruksdirektoratet

Tildeling: 1 839 000 kr

Mål: Prosjektet har som formål å øke jordfruktbarheten og karbonlagringa i norsk jordbruksjord gjennom økt stedstilpasset praktisk og teoretisk kompetanse om regenerativt landbruk.

Delmål

- Metodikken «fem trinn til fruktbar jord» er tilpasset til norsk klima og dyrkingsforhold, med særlig fokus på korndyrking på Østlandet
- Undersøke effekten av de fem trinnene på jordfruktbarheten (humusinnhold, jordstruktur, aggregatstabilitet, ugrastrykk m.m.)
- Bygd kompetansenettverk blant bønder som driver og er i ferd med å dyrke etter regenerative landbruksprinsipper

Utredninger til jordbruksforhandlingene 2019

- Muligheter for økt binding av karbon i jord v/NIBIO. Prosjektleder Daniel Rasse, levina Sturite ansvarlig for eng-delen av prosjektet
- Muligheter for økt binding av karbon i jord i beitemark v/AgriAnalyse

Hvert av prosjektene har fått kr. 400 000, bevilget via Styret for forskningsmidler over jordbruksavtalen.

Lagring av karbon i landbruket

Prosjekteier: Trøndelag fylkeskommune

Prosjektperiode: 1.9.2018 – 1.9.2019

Samarbeidsparter: FMLA Trøndelag, NIBIO, Ruralis, NORSØK, m.fl.

Mål: Forprosjektet skal mobilisere til samarbeid som skal iverksette tiltak for å lagre og binde karbon i jord

Tiltak:

- Kartlegge forsøk og prosjekt, samle informasjon
- Etablere partnerskap
- Gjennomføre regional workshop
- Avklare og initiere praktisk uttesting av metoder for karbonbinding og lagring av karbon i jord, herunder metoder for binding i biokull og fermenteringsforsøk av organisk materiale

Finansiering: Miljødirektoratet/Klimasats kr 250 000, evt. egne midler i tillegg

Carbon Farming

Prosjekteier:

Samarbeidsparter: Nederland: ZLTO og Bionext, Belgia: Inagro og Innovatiesteunpunt, Tyskland: Thünen Institut og 3N Kompetenzzentrum og NLR Østafjells

Prosjektperiode: 2018-2021

Finansiering: Interreg Nordsjø-regionen

Mål: Test and validate economically viable business cases for carbon sequestration in the whole agri-food chain and for third parties to compensate their environmental footprint. It will also raise awareness on the possibilities and benefits of CS amongst entire supply chains. Results are an increased awareness of the economic and ecologic potential of CS, improved soil physics, and 10.000 tons of CO₂ (equivalent) sequestered in soil.

Hjemmeside: <https://northsearegion.eu/carbon-farming/>

Fermentering av husdyrgjødsel med EM

Prosjekteier: Bokashi Norge

Samarbeidsparter: NIBIO, NORSØK, NLR, Agritron

Prosjektperiode: 2017-2019

CarbonFarm

Prosjekteier: Økologisk Landsforening i DK?

Samarbeidsparter: FRDK, Dal-Bo A/S, Agro-Intelligence og forskere fra henholdsvis Aarhus og Københavns universitet

Prosjektperiode: 2017-2020

Sammen med to økologiske og to konvensjonelle bønder skal prosjektet ha fokus på "conservation agriculture" (CA) – eller pløyefri dyrking. Forskerne skal gjennom prosjektet belyse effekter av CA på karboninnholdet i jorda, klimaparametre, nitrogenomsetning og biodiversitet i jorda.

Dansk prosjekt – ukjent tittel

Prosjekteier: Aarhus Universitet

Prosjektet skal dokumentere effekten av holistisk beiting på klima og miljø med fokus på karbonbinding i jord som beites etter prinsippene i intensiv rotasjonsbeiting ved å registrere karboninnholdet i hele jordprofilet over lengre tid. Jordas innhold av nitrogen blir også målt for å se sammenhengen mellom binding av karbon og nitrogen.



Norsk senter for økologisk landbruk, NORSØK er ei privat, sjølvstendig stifting.

Stiftinga er eit nasjonalt senter for tverrfagleg forskning og kunnskapsformidling for å utvikle økologisk landbruk. NORSØK skal bidra med kunnskap for eit meir berekraftig landbruk og samfunn. Fagområda er økologisk landbruk og matproduksjon, miljø og fornybar energi.

**Norsk senter for økologisk landbruk, NORSØK / Gunnars veg 6 / NO-6630 TINGVOLL/
Telefon: +47 930 09 884 / E-post: post@norsok.no / www.norsok.no**